



**MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES  
DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

Jorge David Rosso Vacca

Ingeniero Civil

Asesor interno

Derly Estefany Gómez García,  
IC, MSc en Ingeniería Hidráulica y Sanitaria

Asesor externo

Juan José Rodríguez Vásquez  
IE, Esp. En Gestión de Proyectos.

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental  
Ingeniería Civil  
Medellín  
2023

---

<b>Cita</b>	(Rosso Vacca, 2023)
<b>Referencia</b>	Rosso Vacca, J. (2023). <i>Manual para la elaboración de memorias de cálculo e informes de diseño de pavimentos en una subestación eléctrica</i> . [Semestre de Industria]. Universidad de Antioquia, Medellín.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	

---



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/director:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

Le dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia, principalmente a mis padres y mis hermanos por su apoyo, por estar en los momentos más difíciles, enseñarme a afrontar las dificultades y siempre sacar lo mejor de mí.

A mis amigos, por estar durante mi vida y no solo apoyarme sino también soportarme.

A Morita, por ser mi amiga fiel y alegrarme la vida.

## **Agradecimientos**

Agradezco a mis profesores de la universidad, por darme las herramientas necesarias para desempeñarme como un excelente profesional. A mi asesora Derly, por colaborarme e instruirme durante el tiempo de las prácticas. Al ingeniero Kevin, por guiarme en el proceso de las prácticas profesionales.

También agradezco a INGEMA S.A por darme la oportunidad de realizar mis prácticas y desarrollar mi perfil profesional.

## Tabla de contenido

Resumen	7
Abstract	8
1 Introducción	9
2 Objetivos	11
2.1 Objetivo general	11
2.2 Objetivos específicos	11
2 Marco teórico	12
3. Metodología	15
Etapa 1: Elementos y estructura del manual.	15
Etapa 2: Sistematización gráfica de la elaboración de los informes.	16
Etapa 3: Referencias, comentarios y recomendaciones.	17
4 Resultados	19
Resultados de la etapa 1	19
Resultados de la etapa 2.	23
Resultados de la etapa 3	26
5 Análisis de Resultados	28
6 Conclusiones	29
Referencias	30
Anexos	31

## **Lista de figuras**

<i>Figura 1. Portada del manual.</i>	19
<i>Figura 2. Diagrama BPMN para informe Pavimentos Rígidos.</i>	24
<i>Figura 3. Diagrama BPMN para informes de Pavimento flexible o en Afirmado.</i>	25

## **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>SE</b>	Subestación Eléctrica.
<b>INVIAS</b>	Instituto Nacional de Vías
<b>CBR</b>	California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California
<b>SN</b>	Número estructural para pavimentos
<b>K</b>	Módulo de reacción de la subrasante
<b>TDP</b>	Tránsito promedio diario
<b>TPDS</b>	Tránsito promedio diario semanal
<b>TPD-C</b>	Tránsito promedio diario de vehículos comerciales.
<b>FCA</b>	Factor de distribución para el carril de diseño
<b>FC</b>	Factor común
<b>C3S3</b>	Camión de tres ejes con semirremolque de tres ejes
<b>C3</b>	Camión de tres ejes
<b>BPMN</b>	Business Process Modeling Notation

# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

7

---

## Resumen

Es importante que las organizaciones indiquen a sus colaboradores los procedimientos y la forma de operar en la realización de informes de diseño de pavimentos. No obstante, muchas empresas carecen de manuales que ilustren la manera de proceder en la elaboración de los informes de una manera estandarizada, sistematizada y organizada. Los manuales son herramientas útiles que ilustran el paso a paso hacer informes, pues persiguen la mayor eficiencia y eficacia del trabajo asignado al personal para alcanzar los objetivos de cualquier organización. Es por eso, que se debe proveer los lineamientos, reglas y normas que involucran en la realización de informe de diseño de estructuras de pavimentos en una subestación eléctrica. Para este trabajo se realizó un manual que describe cada uno de los ítems del contenido común de los informes de vías en una subestación eléctrica, además se proveyó un diagrama mediante un *Business Process Modeling Notation* BPMN que ilustra la manera de proceder en la ejecución. También, se incluyeron los comentarios y recomendaciones más recurrentes realizadas por los clientes para así evaluar el desempeño de los colaboradores de la empresa INGEMA S.A. Finalmente, se obtuvo un manual que será utilizado como herramienta imprescindible para indagar de lo que es o ha sido la práctica real en la elaboración de informes y memorias de cálculos de estructuras de pavimentos.

*Palabras clave:* Subestación eléctrica, Pavimento, Manual, Informe, Memoria de cálculo.

# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

8

---

## Abstract

It is important for organizations to instruct their employees on the procedures and the way to operate in the preparation of pavement design reports. However, many companies lack manuals that illustrate how to proceed in the preparation of reports in a standardized, systematized, and organized manner. Manuals are useful tools that illustrate the step-by-step reporting process since they aim at the highest efficiency and effectiveness of the work assigned to the personnel to achieve the objectives of any organization. For this reason, it is necessary to provide the guidelines, rules and norms involved in the realization of the design report of pavement structures in an electrical substation. For this work, a manual describing each of the items of the common content of the track reports in an electrical substation was made, and a diagram was provided through a *Business Process Modeling Notation* BPMN that illustrates the way to proceed in the execution. Also, the most recurrent comments and recommendations made by the clients were included to evaluate the performance of the collaborators of INGEMA S.A. Finally, a manual was obtained that will be used as an essential tool to investigate what is or has been the real practice in the elaboration of reports and calculation memories of pavement structures.

*Keywords:* Electrical substation, Pavement, Manual, Report, Calculation report.



# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

9

---

## 1 Introducción

INGEMA S.A. es una empresa de “ingeniería y desarrollo de proyectos de infraestructura eléctrica y civil, que ofrece a sus clientes soluciones integrales en el diseño, suministro, construcción, montaje, pruebas y puesta en servicio, mantenimiento, consultoría e interventoría, procurando el logro de los objetivos de las partes interesadas” (INGEMA S.A, 2020). El área de ingeniería se encarga de realizar los diseños de las obras civiles involucradas en una subestación eléctrica, entre ellos los diferentes caminos, tales como, de acceso, internos o circundantes. Para cada uno de los proyectos se deben entregar memorias de cálculo, los informes y los planos de manera detallada y explícita según los requerimientos del cliente.

Por lo anterior, es importante para las organizaciones indicar a sus colaboradores, recién ingresados y practicantes los procedimientos y la forma en la que deben operar. No obstante, muchas empresas carecen de documentos o manuales que ilustren la forma de proceder a elaborar informes y memorias de cálculo de una manera estandarizada, sistematizada y organizada. Es por eso, que la necesidad de elaborar manuales, que constantemente estén en revisión y validación de los procesos inscritos en él se convierte en una actividad importante para cualquier organización, ya que esto puede agilizar los tiempos de entrega de informes, memorias y otros documentos lo cual se traduce en menos gastos para la empresa.

Para una subestación eléctrica es importante tener caminos que garanticen la movilidad de los vehículos de una manera segura y eficiente, tanto en el interior como en el exterior. En este trabajo, se realizó un manual, en el cual se detallaron los puntos más relevantes para tener en cuenta en el diseño de estructuras de pavimentos dentro y fuera de una subestación eléctrica, así como el contenido y la forma en la que se entregarán las memorias de cálculo.

Para la realización del manual, se utilizó la normatividad vigente y los trabajos realizados en INGEMA S. A., la normativa incluye los manuales de diseño de pavimentos para fundamentar el documento bajo archivos técnicos y regulados por la ley. Los trabajos previamente realizados ayudaron a recopilar información de la forma de proceder de la empresa, los errores cometidos y los comentarios y/o sugerencias por parte de los clientes.

# **MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

Finalmente, se entregó un manual donde se especificó la estructura de manera organizada y sistematizada de las memorias de cálculo e informes de los caminos en una subestación eléctrica. De igual forma, se establecieron cuáles pueden ser los errores más comunes en la realización de los documentos y por ultimo los comentarios de las sugerencias y peticiones comunes de los clientes de INGEMA S.A.

# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

11

---

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Proveer los lineamientos, reglas y normas de una forma sistematizada, explícita y organizada para realizar memorias de cálculo e informes de diseño de pavimentos de vías internas en una subestación eléctrica de la empresa INGEMA S. A mediante un manual de elaboración de diseño de memorias de cálculo e informes de vías internas de una subestación eléctrica.

### 2.2 Objetivos específicos

- Presentar información detallada, sistematizada y comprensible sobre el procedimiento para el diseño de las vías internas en la subestación eléctrica.
- Facilitar la capacitación y el adiestramiento del nuevo personal ingresante al área de ingeniería para el diseño de pavimentos.
- Considerar los comentarios y recomendaciones realizadas por los clientes en entregas pasadas para agilizar y evitar las devoluciones de las memorias e informes.

# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

12

---

## 2 Marco teórico

Según Montejo (2002), un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, que se diseñan con materiales apropiados y compactados adecuadamente. Estas estructuras se apoyan sobre una subrasante, la cual debe resistir los esfuerzos que las cargas repetitivas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñado. Además, un buen pavimento debe cumplir adecuadamente sus funciones, es decir, resistente a la acción de las cargas del tránsito, a los agentes ambientales, buena textura superficial para la rodadura de los vehículos, durable y económico. Los caminos o vías en una subestación se dividen de la siguiente forma:

- **Caminos de acceso a la subestación:** “Es la vía que se construye para comunicar a la subestación desde el acceso (municipal, estatal, etc.) ya existente, hasta el límite del predio de dicha estación” (UNAM, s.f.).
- **Caminos de acceso principal:** De acuerdo con Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (s.f., unidad 2, p.3), se construyen en el interior de la subestación a partir del portón de acceso, hasta donde se localizan los transformadores de potencia, los cuales se ubican mediante unas carrileras.
- **Caminos de acceso interior:** Acorde a la UNAM (s.f., unidad 2, p.3), se construyen en el interior del predio y sirven para acceder entre las instalaciones de la subestación.
- **Caminos de acceso perimetral:** “Son los que se construyen en el interior del predio y sirven para transitar alrededor de las instalaciones de la subestación.” (Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad 2, p.3).
- **Caminos de acceso de mantenimiento:** “Son los que se construyen en las áreas eléctricas con la finalidad de poder dar acceso a vehículos de mantenimiento al equipo eléctrico” (Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad 2, p.3).

Por otra parte, en las subestaciones eléctricas, los caminos o vías interiores se pueden realizar de tres tipos de pavimentos: rígidos, flexibles y en afirmados. Cada uno de ellos con comportamientos y características distintas, pero con la misma finalidad, la cual es la circulación de los transito de tractocamiones de tres (3) ejes con semirremolque de tres (3) ejes, es decir, C3S3,

# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

los cuales se encargan de transportar los equipos de la subestación. Así como de camiones de tres ejes, es decir, C3, que circulan temporalmente para llevar repuestos o materiales para la construcción, mantenimiento o adecuación de la subestación. A continuación, se describe cada uno del tipo de pavimentos mencionados anteriormente.

**Pavimentos rígidos:** “Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado” (Montejo , 2002).

**Pavimentos flexibles:** De acuerdo con Montejo (2002), estas estructuras están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, una base y subbase, no obstante, se puede prescindir de cualquiera de estas capas dependiendo de la particularidades de cada obra.

**Pavimentos en afirmado:** Como menciona Palma et al. (2017) el afirmado está constituido por tres tipos de materiales: piedra, arena y finos, y la combinación adecuada de ellos determina la viabilidad del material.

Por otro lado, las vías en una subestación eléctrica se diseñan generalmente con la metodología realizada descritas en el método AASHTO. La metodología AASTHO de acuerdo con Morales (2015), presenta un modelo o ecuación a través de la cual se obtiene el parámetro llamado número estructural (SN), cuyo valor además de ser un indicativo del espesor total requerido del pavimento, es función del tránsito y la confiabilidad entre otros.

Otros aspectos relevantes para el diseño de pavimentos son el tránsito promedio diario (TPD), el tipo de vía, el clima y los ejes acumulados sencillos de 8,2 toneladas (18000 libras), los cuales “son los ejes equivalentes que han de pasar por el carril de diseño durante el período de diseño” (INVIAS, 2008). Por otra parte, dado que la circulación en las vías internas es mínima, se puede, bajo criterio ingenieril, o por voluntad del cliente, deducir un periodo de diseño de 20 años.

Cada diseño de pavimentos debe estar regidos por la normatividad, para el diseño de pavimentos se usa el Manual INVIAS para diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios u altos volúmenes de tránsito, mientras que para el diseño de pavimentos flexibles y afirmados se usa Manual INVIAS para diseño de vías en pavimento asfálticos con bajos volumen de tránsito.

# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Ahora bien, el suelo como material de fundación se le debe establecer cuál es su resistencia mecánica, determinado por la relación entre la carga y deformación unitaria del suelo. Dado que la resistencia mecánica depende de varios factores como la humedad, la compactación y el confinamiento la respuesta del pavimento está influenciada por la resistencia de la subrasante, por lo que se hace necesario evaluar la calidad del terreno de la subrasante, se obtiene los valores de la resistencia al esfuerzo cortante (CBR) de la subrasante. Esta resistencia al esfuerzo cortante, tal como lo especifica Montejo (2002), es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas.

Es importante aclarar que el diseño de estructuras va correlacionado con las disposiciones físicas en el diseño geométrico, tales son, dimensiones, trayectorias de giro, curvas horizontales, pendientes y la velocidad del diseño. Lo anterior, tiene como finalidad dar un diseño estructural que cumpla con la estética, lo confortable y lo seguro para los usuarios de las vías interiores en la subestación eléctrica.

Finalmente, para hacer más ilustrativo el manual, se usarán *Business Process Modeling Notation* (BPMN), el cual, según menciona Mesa et al. (2014) está enfocado al modelamiento y proporcionará a las empresas la capacidad de comprensión de sus procesos de negocio internos en una notación gráfica; y dará a las organizaciones la capacidad de comunicar estos procedimientos de manera estándar.

# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

15

---

## 3. Metodología

La metodología fue realizada en las siguientes etapas:

### **Etapas 1: Elementos y estructura del manual.**

Primero, se establecieron los elementos que son relevantes para la elaboración del manual. Para ello, se decidió por una estructura simple, sencilla y de fácil entendimiento para los colaboradores de la empresa INGEMA S. A encargados en el diseño y elaboración de los informes de vías en una Subestación Eléctrica (SE). Por lo anterior, la estructura que tuvo el manual se basó en responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la finalidad del manual?
- ¿Cuál o cuáles son los propósitos del manual?
- ¿Cómo será la estructura del manual?
- ¿Cómo hacer que el contenido del manual sea sencillo y de fácil lectura para los colaboradores de INGEMA S.A.?
- ¿Qué contenido tienen los informes y memorias de cálculo de diseño de pavimentos en una SE?
- ¿Cuáles son las normas que influyen en la elaboración de memorias e informes de estructuras de pavimentos?
- ¿Cuáles son los comentarios más comunes en las memorias e informes pasados de los informes de estructuras de pavimentos emitidos por los clientes?
- ¿Qué recomendaciones se deben tener en cuenta para realizar los informes?

Luego de tener claro las preguntas mencionadas anteriormente, fue seleccionada una plantilla agradable y sencilla visualmente, y con un título donde se muestre claramente el motivo y finalidad del manual. Posteriormente se esclareció el propósito y el objetivo, derivados de las problemáticas en la sistematización de la elaboración del informe y la eficiencia en la entrega a los clientes.

Finalmente, al tener el objetivo y el propósito claro del manual, se revisó la estructura de los documentos internos de la empresa, comparándolos entre sí y verificando los ítems más relevantes y comunes expuestos. Simultáneamente, se constató cuál fue la mejor organización de

# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

los informes, con la finalidad de sistematizar y agilizar el paso a paso de la elaboración de los informes y memorias de cálculo.

## **Etapas 2: Sistematización gráfica de la elaboración de los informes.**

Posteriormente, para hacer más dinámico y esclarecedor el manual, se elaboró un diagrama que indica el proceso en forma gráfica y sencilla, como se ilustra en las figuras 2 y 3 de la sección de Resultados, que corresponden a un diagrama BPMN o notación para el modelado de procesos.

Para dicha realización, se debió erigir los procesos y procedimientos a incluir para la elaboración de las memorias de cálculo e informe del diseño de los pavimentos en una subestación eléctrica. Además, se tuvo en cuenta, la normativa y que los pasos a seguir fueran sistemáticos y organizados.

Inicialmente, para tener clara la estructura del informe, se diferenciaron dos tipos de documentos: uno para pavimentos rígidos y el otro para pavimentos flexibles. Como paso inicial fueron escogidos la normativa que rige el diseño y los documentos internos de la empresa, los cuales son, el estudio de suelos, especificaciones técnicas, periodo de diseño y laboratorio CBR.

Segundo, se visualizó que, para ambos informes, existe el criterio de tránsito. En este paso, dado que son vías de bajo volumen de tránsito y además es de uso industrial, se adicionó como nota, que generalmente se usan entre 10 vehículos, a menos que se especifique lo contrario.

Luego, las metodologías variaron para ambos diseños, para pavimentos rígidos, se debe realizar el análisis de la capa donde será apoyada la subrasante, luego se escoge de acuerdo con las especificaciones técnicas el material de la estructura y finalmente las formas de transferencias de carga y confinamiento. Por otro lado, para los pavimentos flexibles, después de obtener las variables que involucran el tránsito, se seleccionan las variables: Factor de distribución (FCA), distribución direccional, Factor común y los ejes equivalentes.

Posteriormente, para ambas metodologías, un factor común es el clima dado que las condiciones ambientales tienen un efecto significativo en el desempeño de los pavimentos. Factores externos tales como la precipitación y temperatura juegan un rol importante en la definición del grado de impacto que el medio ambiente puede tener en el comportamiento de las estructuras de pavimento. Factores internos tales como la susceptibilidad de los materiales a la humedad, el drenaje de las capas de pavimento, la infiltración de la estructura, definen la manera



# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

en la cual el pavimento reaccionará a la aplicación de las condiciones ambientales externas. Finalmente, luego de tener todos los parámetros mencionados anteriormente se realiza el dimensionamiento de la estructura teniendo en cuenta el diseño geométrico y el drenaje de la vía.

### **Etapas 3: Referencias, comentarios y recomendaciones.**

Toda la información técnica obtenida de los informes y memorias de cálculo se comprobó en la normativa correspondiente. Para las vías en pavimentos rígidos, se comparó la información expuesta en los informes con el Manual de diseño de Pavimentos de Concreto, para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito (INVIAS,2008). Allí se exponen los aspectos técnicos y económicos al momento de diseñar, además se constató que los ítems de las estructuras de estos informes contengan al menos las variables allí mencionadas; tales como, el periodo de diseño, la subrasante, las juntas, características de los materiales, transferencias de cargas y confinamientos laterales. Finalmente, se verificó que la metodología de diseño sea la correspondiente y aprobada por la normatividad.

En cuanto a las vías en pavimentos flexibles y en afirmado, se comparó la información expuesta en los informes con el Manual de Diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito (INVIAS, 2008), el cual expone que para un diseño de estas estructuras se debe considerar el método de diseño, periodo de diseño, tránsito, el clima, el estudio del CBR, factor de distribución (FCA), factor común (FC) y ejes equivalentes de 8.2 toneladas.

Además de lo mencionado anteriormente, para el diseño de los pavimentos se debe tener en cuenta los parámetros obtenidos del diseño geométrico, tales son: las dimensiones del pavimento, pendiente de bombeo, pendiente longitudinal y las trayectorias de giro para los vehículos de diseño (en este caso C3S3 que corresponde al más crítico).

De igual forma referente a la información técnica, se debió comprobar la información interna necesaria para el diseño, tales como el estudio de suelos, los criterios de obras civiles, especificaciones técnicas, plano de adecuación del terreno, disposición física de las subestaciones y planos de drenajes para la ubicación de los sumideros. Estos documentos dan la información requerida por el cliente, el dimensionamiento y la forma en la que se drenará la vía.

Para cerrar el manual, como última actividad, se revisaron los informes y memorias de cálculo de diseño de estructuras de pavimentos para visualizar los comentarios y las

# **MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

recomendaciones hechas por los clientes, también los errores más comunes y detectar cuales han sido los posibles problemas en los retrasos para la aprobación de los documentos.

# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

19

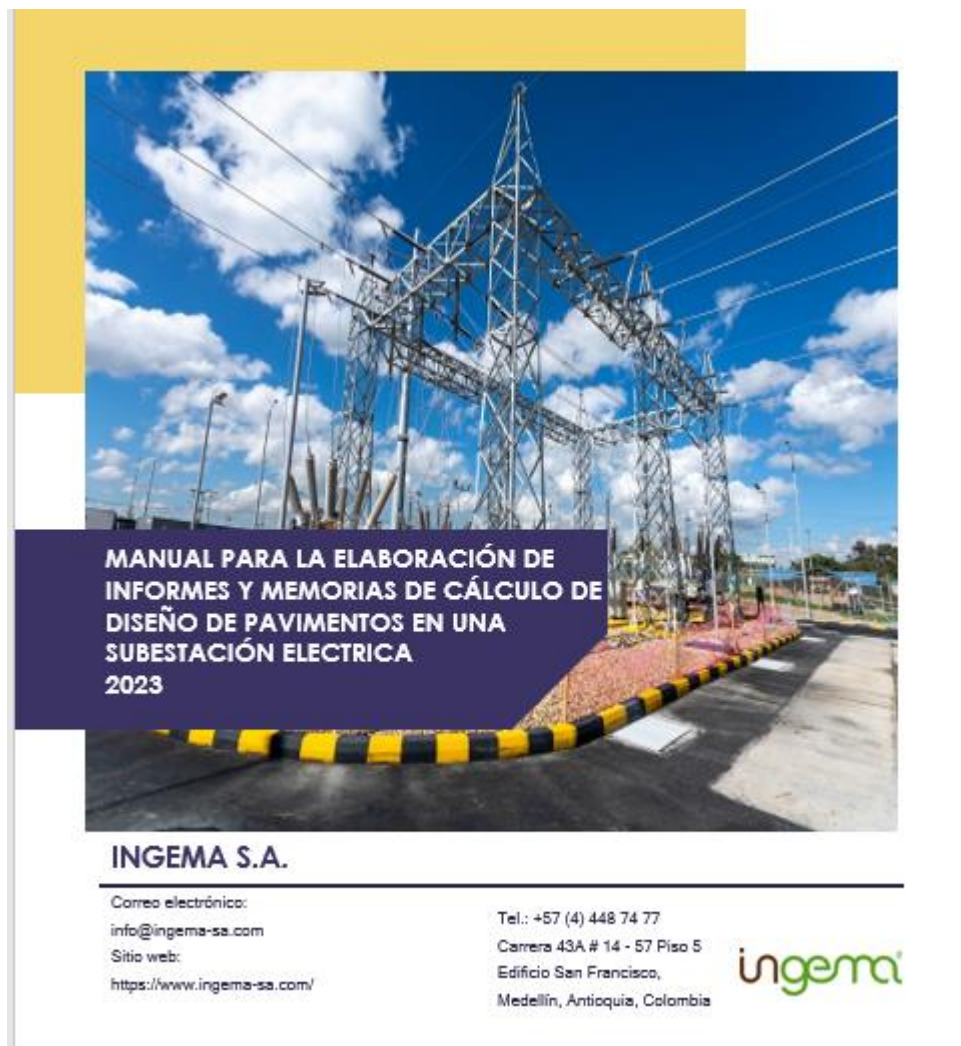
## 4 Resultados

Los resultados del manual se presentan a continuación:

### Resultados de la etapa 1

Los diseños de los manuales deben ser lo más claros y sencillos posibles, con el objetivo de no perder el enfoque para el cual se creó. A continuación, se presenta la estructura del manual:

1. El título se escogió con la finalidad de ser claro y conciso sobre la información que contendrá el manual, tal como se ilustra en la figura 1, además se encuentra la información y el logo de la empresa INGEMA S.A.



**Figura 1.** Portada del manual.

# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

2. Introducción: Se expone una breve explicación del procedimiento del manual, el propósito por el cual se decidió realizar el manual y su presentación.
3. Descripción del manual: El manual está diseñado para presentar en las memorias e informes la metodología, criterios técnicos y detalles para el diseño de pavimentos rígidos, flexibles y/o en afirmado de una subestación eléctrica, tanto para los caminos internos como los externos, de una manera organizada y sistematizada, facilitando su elaboración y agilizando los tiempos de entrega de estos. De igual forma, se presentaron algunas recomendaciones y comentarios hechos por los clientes de la empresa INGEMA SA.
4. Objetivos del manual. Los objetivos del manual están definidos a continuación:
  - Dar los lineamientos, reglas y normas para realizar las memorias e informes de diseño de pavimentos de vías en una subestación eléctrica de la empresa INGEMA S.A.
  - Capacitar y el adiestrar al personal ingresante en el área de ingeniería y diseño.
  - Sistematizar el proceso de elaboración de memorias de cálculo e informes de diseño de pavimentos en una SE.
  - Agilizar la entrega de memorias e informes de diseño de pavimentos en una SE.
5. Normas aplicables al diseño de pavimentos en una Subestación Eléctrica. Las normas que se utilizan normalmente para la elaboración de las memorias de cálculo e informes son:
  - AASHTO, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highways and Transportation Officials, Whashington D.C, 1993.
  - Manual INVIAS para diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios u altos volúmenes de tránsito.
  - Manual INVIAS de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito 2013.
  - Manual de Diseño geométrico INVIAS 2008.
  - Manual de mantenimiento de carreteras 2016. Volumen 2.
6. Requisitos, documentos, contenido y anexos para el informe y memoria de cálculo.

# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Para la elaboración de los informes y memorias de cálculo, se requiere, por lo menos contar con los siguientes documentos internos de la empresa INGEMA S.A.

- Estudio de suelos.
- Los criterios de diseño de obras civiles, en los cuales se enumeran los requisitos del cliente tanto como la descripción del proyecto y los materiales a usar.
- Especificaciones técnicas del proyecto.
- Diseño geométrico de vías.
- Memoria de movimiento de tierras.
- Plano del sistema de drenaje de la subestación.
- Resultados de ensayo de laboratorio CBR.

## 7. Descripción del informe y memoria de cálculo.

El contenido del informe para pavimentos rígidos es típicamente es de la siguiente forma:

- Objeto del informe.
- Criterios de diseño.
- Parámetros de diseño.
- Tránsito y periodo de diseño.
- Tránsito promedio diario (TDP).
- Tránsito promedio diario de vehículos comercial (TPD-C).
- Categorías de tránsito para la elección de espesores.
- Propiedades del estrato de apoyo (Subrasante).
- Módulo de reacción de la subrasante (K).
- Material de soporte para el pavimento.
- Características del concreto- Módulo de rotura.
- Transferencias de carga y confinamiento lateral.
- Cálculo del espesor del pavimento.
- Juntas en el pavimento: de expansión, aislamiento, entre placas, transversales y longitudinales de contracción y construcción.
- Velocidad de diseño.

# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

22

---

- Pendiente de diseño.
- Trayectorias de giro.
- Referencias del informe.

El contenido del informe para pavimentos flexibles es típicamente es de la siguiente forma:

- Objeto del informe.
- Alcance o criterios de diseño.
- Periodo de diseño.
- Tránsito.
- Transito promedio diario semanal (TPDS).
- Tránsito promedio diario de vehículos comercial (TPD-C).
- Tasa anual de crecimiento de tránsito.
- Factor de distribución (FCA).
- Distribución direccional.
- Factor común (FC).
- Ejes equivalentes de 8.2 toneladas.
- Clima.
- Categoría de la subrasante.
- Velocidad de diseño.
- Pendiente de diseño.
- Trayectorias de giro.
- Documentos de referencia.

El contenido del informe para vías en afirmado es típicamente es de la siguiente forma:

- Objeto del informe.
- Alcance o criterios de diseño.
- Región climática.
- Calidad relativa del suelo.
- Nivel de tránsito.
- Espesor del afirmado.

# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

23

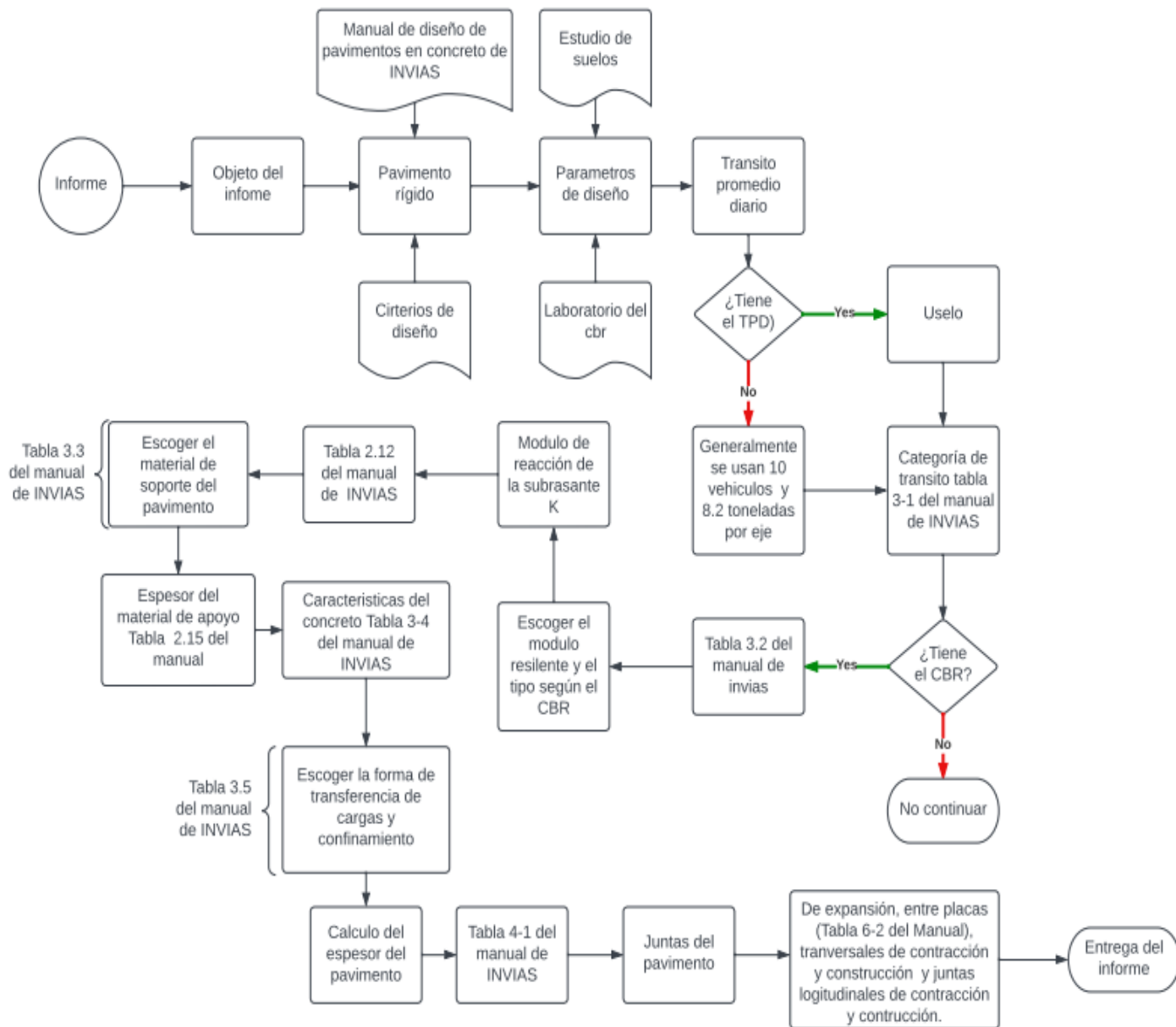
---

- Mantenimiento rutinario para vías en afirmado.
- Velocidad de diseño.
- Dimensiones y trayectorias de giro.
- Pendiente de diseño.
- Documentos de referencia.

## **Resultados de la etapa 2.**

Gráfico o diagrama de flujo del procedimiento: Se realizó un diagrama BPMN para ilustrar el procedimiento y paso a paso del informe sobre estructuras de pavimentos en una subestación eléctrica, como se ilustra en las Figuras 2 y 3 con la finalidad de hacer más dinámico el manual.

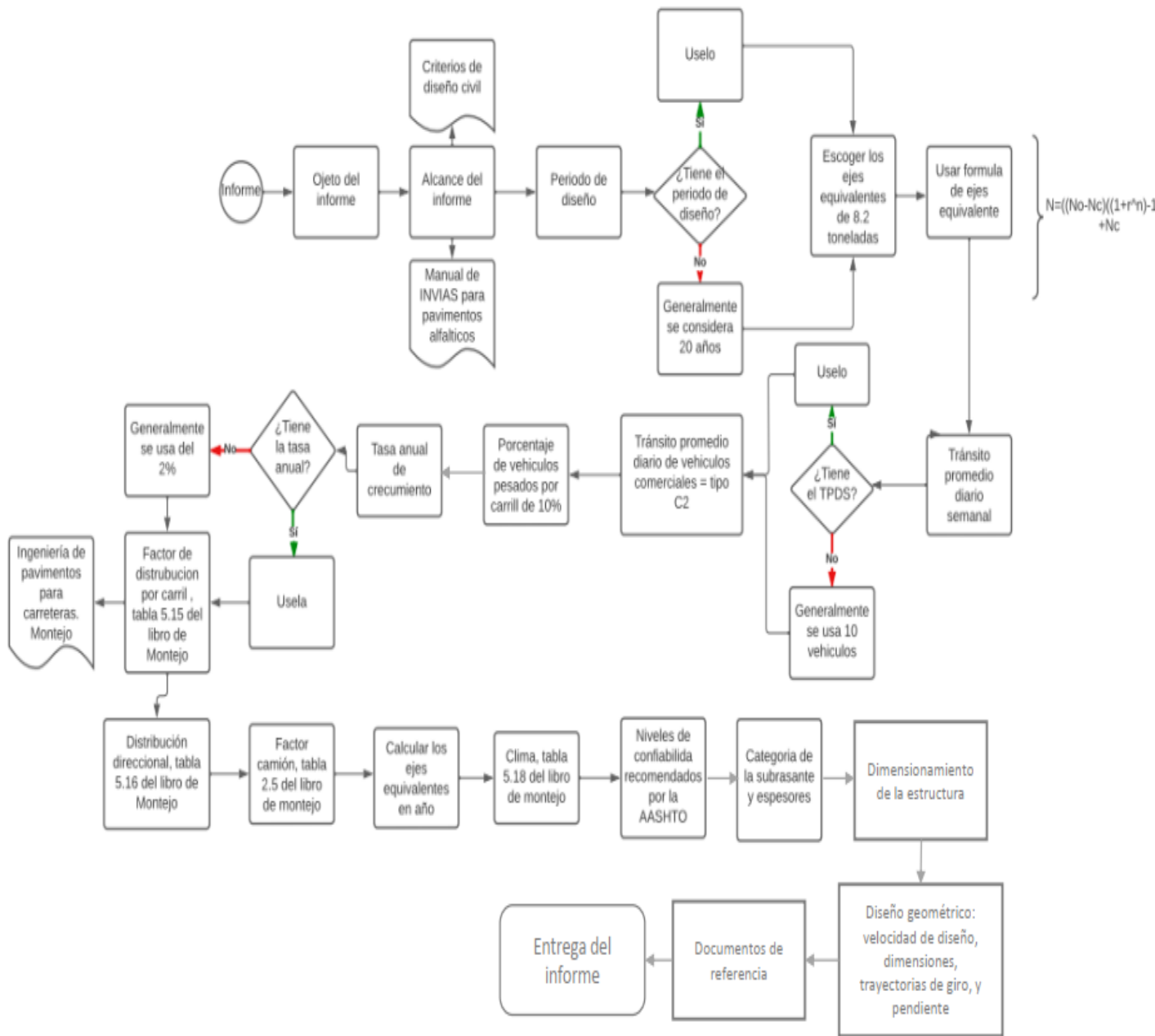
# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA



**Figura 2.** Diagrama BPMN para informe Pavimentos Rígidos.



**MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES  
DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**



**Figura 3.** Diagrama BPMN para informes de Pavimento flexible o en Afirmado.

# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

26

---

## Resultados de la etapa 3

Fue uno de los puntos relevantes del manual, ya que en ellos se exponen las exigencias y comentarios comunes que hacen los clientes, dado que el propósito del manual es sistematizar y agilizar la entrega de los informes, acortando los tiempos de entrega y evitando cometer los errores más comunes. Algunos de los comentarios más comunes de los clientes se presentan a continuación:

- En el estudio de suelos no se presenta el CBR indicado ni concuerda con el especificado en el plano, verificar el diseño teniendo en cuenta este valor. Considerar el diseño para diferentes valores de CBR.
- Teniendo en cuenta que se obtuvieron los diferentes parámetros de diseño, evaluar por la metodología seleccionada o la comparación de métodos, los espesores mínimos requeridos.
- Se recomienda que la memoria se actualice considerando las condiciones reales en cuanto a las características de subrasante encontradas en sitio durante la construcción. El diseño actual considera una capacidad de soporte del suelo de 5 a 10%, y dada la información de sitio esta puede ser <3%. Por lo que se proponen dos alternativas:
  - Realizar una estimación de espesor de reemplazamiento con el fin de llegar a un CBR equivalente a nivel de subrasante de 5 a 10%.
  - Considerar una combinación entre lo indicado anteriormente y un geotextil de refuerzo, si se quisiera reducir movimiento de tierra.
- La alternativa informada en cuando al reemplazamiento total del material blando existente se puede aceptar, pero hay que tener claro que se puede llegar a realizar movimientos de tierra mayores a los que razonablemente pueden ser requeridos.
- En la planta general, incluir la localización de sumideros con cotas o con coordenadas o nota donde se encuentran las coordenadas.

Finalmente, es imperativo y necesario siempre hacer una supervisión y evaluación del manual, su utilidad y eficiencia para la realización de los informes y memorias de cálculo de las

# **MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

27

---

estructuras de pavimentos, con el objetivo de mejorar y facilitar la comprensión de este. Por último, este manual se adjunta en la sección de Anexos.

# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

28

---

## 5 Análisis de Resultados

El manual para la elaboración de informes de diseño de pavimentos está dispuesto de una forma sistemática y organizada para que los nuevos ingresos y actuales colaboradores de la empresa INGEMA S.A, tengan una base de cómo proceder a elaborar. Además, esto facilitará la capacitación y adiestramiento del personal.

De igual forma, el manual, organizará la forma de proceder de la empresa, evitando que existan así diferentes formatos en los informes y mejorará la calidad de estos, ya que al tener una forma estructurada evitará ambigüedades y malas interpretaciones.

Por otra parte, el manual aportará a la empresa INGEMA SA eficiencia y efectividad en la entrega de los informes, lo que representará beneficios para la misma. Dada la forma en la que se entregó el manual, el colaborador solo debe seguir los pasos y evitará así gastar tiempo en redacción, además la búsqueda de la normatividad está explícitamente en el documento.

También, el exponer los comentarios y recomendaciones más comunes de los clientes, se evidencia que es importante tener los resultados del CBR, es por eso por lo que en el manual se expresa de manera directa la exigencia de tener este estudio previo a la realización del informe y memoria de cálculo. Por otra parte, el manual presenta una forma concisa de redacción de cada uno de los ítems, evitando así retrasos por devolución debido a esta exégesis. Finalmente, este manual proporcionará una herramienta imprescindible para indagar acerca de lo que es o ha sido la práctica real de la elaboración de informes y memorias de cálculo, ya que se convierte en un registro disponible del conocimiento y aprendizaje de la empresa INGEMA S.A.

# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

29

---

## 6 Conclusiones

Fueron proporcionados los lineamientos, reglas y normas de una forma sistematizada, explícita y organizada de los informes y memorias de cálculo de estructuras de pavimentos de las vías internas en una subestación eléctrica de la empresa INGEMA S.A mediante un manual, en el cual se expusieron los ítems más comunes y relevante de los informes y lo que contienen.

Igualmente, se presentó de forma detallada, sistematizada y comprensible cada uno de los ítems expuestos en el manual, explicando el proceso y suministrando información de como redactar y exponer los resultados que se presentan en los informes y memorias de cálculo de pavimentos en una Subestación eléctrica.

También, con la ayuda del manual facilitará la capacitación y el adiestramiento del nuevo personal ingresante al área de ingeniería para el diseño de pavimentos, lo cual agilizará el proceso, realización y entrega de los informes.

Por otro lado, con la ayuda de los comentarios y recomendaciones emitidas por los clientes en los informes presentados por la empresa INGEMA S.A., se evidenciaron los errores más comunes y las consideraciones que se deben tener en cuenta para que los colaboradores de la organización eviten y tengan en cuenta a la hora de la ejecución de estos documentos, siendo más eficientes.

Finalmente, este manual sirve para evaluar el desempeño de los procedimientos con la ayuda de los comentarios emitidos por los clientes, las recomendaciones hechas por los antiguos trabajadores y las nuevas propuestas de los nuevos ingresantes, con el objetivo de mejorar y generar trabajos de calidad.

# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

30

---

## Referencias

- García Morales , A. R. (2015). *Diseño de pavimentos asfáltico por el método AASHTO-93 empleando el software DISAASHTO-93*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/143451539.pdf>
- INGEMA S.A. (2020). *INGEMA S.A.* Obtenido de <https://www.ingema-sa.com/>
- INVIAS. (2008). Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías de bajo volumen de tránsito. Colombia .
- INVIAS. (2008). Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías de bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Colombia.
- Mesa, A., Lochmuller, C., & Tabares, M. (2014). *Comparativo entre herramientas BPMN*. Revista Soluciones De Postgrado, 6(12), 95–108. Obtenido de <https://revistabme.eia.edu.co/index.php/SDP/article/view/601>
- Montejo , A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras* (Segunda edición ed.). Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Palma Ramirez , M. M., Cervera Enciso , M. A., & Arenas Alvarez, E. (2017). *Caracterización y mejoramiento del material de afirmado para terraplenes de la cantera recebera La Esmeralda, ubicada en el kilómetro 12 vía Totumo* . Ibagué .
- Universidad Nacional Autónoma de México. (s.f.). Supervisión de proyectos de construcción de la obra electromecánica de subestaciones eléctricas de potencia. México.Unidad 2. p 3.

**MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES  
DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

31

---

**Anexos**

**Anexo 1.** *MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE MEMORIAS DE CÁLCULO E INFORMES  
DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELECTRICA*



# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE INFORMES Y MEMORIAS DE CÁLCULO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS EN UNA SUBESTACIÓN ELECTRICA 2023

## INGEMA S.A.

Correo electrónico:

[info@ingema-sa.com](mailto:info@ingema-sa.com)

Sitio web:

<https://www.ingema-sa.com/>

Tel.: +57 (4) 448 74 77

Carrera 43A # 14 - 57 Piso 5

Edificio San Francisco,

Medellín, Antioquia, Colombia

**ingema**<sup>®</sup>



# TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	2
DESCRIPCIÓN	3
OBJETIVOS	4
NORMAS DE DISEÑO	5
DOCUMENTOS INTERNOS NECESARIOS	6
CONTENIDO TÍPICO DEL INFORME PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO RIGIDO	7
1. Objeto	7
2. Criterios de diseño	7
3. Parámetros de diseño	7
4. Tránsito y periodo de diseño	8
5. Propiedades del estrato de apoyo (Subrasante)	9
6. Material de soporte para el pavimento	10
7. Características del concreto- Módulo de rotura	11
8. Cálculo del espesor de pavimento.	11
9. Juntas en el pavimento	12
10. Acero de refuerzo	18
11. Velocidad de diseño	18
12. Pendiente de diseño	18
13. Dimensiones y trayectorias	18
14. Documentos de referencia	19
CONTENIDO TÍPICO DEL INFORME PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE	20
1. Objeto	20
2. Alcance	20
3. Diseño de pavimento flexible	20
4. Parámetros de diseño	20
5. Tránsito y periodo de diseño	21
6. Clima	24
7. Confiabilidad	24
15. Desviación normal ( $Z_r$ )	25
16. categoría de la subrasante	26
17. Dimensionamiento de la estructura.	27
18. Diseño geométrico	27
19. Referencias	28
DIAGRAMAS BPMN	29
1. Diagrama BPMN para vías en pavimento rígido.	29
2. Diagrama BPMN para vías en pavimento flexible y en afirmado	30
COMENTARIOS TÍPICOS A LOS INFORMES Y MEMORIAS DE CÁLCULO	31
REFERENCIAS	32

# LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Categoría de tránsito (INVIAS, 2008) _____	8
Tabla 2. Clasificación de la subrasante. (INVIAS, 2008) _____	9
Tabla 3. Tablas para espesores del material de apoyo del pavimento. (INVIAS, 2008) _____	11
Tabla 4. Resistencia a la flexión del concreto (Módulo de rotura). (INVIAS, 2008) _____	11
Tabla 5. Espesores de losa de concreto para de acuerdo con la combinación de variables- T0 (INVIAS, 2008) _____	12
Tabla 6. Dimensionamiento de pasadores de carga. (INVIAS, 2008) _____	14
Tabla 7. Recomendación para las barras de anclaje. (INVIAS, 2008) _____	16
Tabla 8 Factor de distribución para el carril de diseño (Fca). (INVIAS, 2008) _____	22
Tabla 9. Distribución direccional. (INVIAS, 2008) _____	23
Tabla 10. Factor Camión (FC). (Montejo , 2002) _____	23
Tabla 11. Clasificación climática (INVIAS, 2008) _____	24
Tabla 12. Confiabilidad. (INVIAS, 2008) _____	25
Tabla 13. Valores del parámetro Zr (INVIAS, 2008) _____	25
Tabla 14. Rangos de tránsito (INVIAS, 2008) _____	26
Tabla 15. Categoría de la subrasante. (Montejo , 2002) _____	27

# LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K.</i> (INVIAS, 2008) _____	10
<b>Figura 2.</b> <i>Detalle de junta de expansión o de aislamiento</i> _____	13
<b>Figura 3.</b> <i>Juntas de expansión en las intersecciones y cerca algún obstáculo</i> _____	13
<b>Figura 4.</b> <i>Juntas de expansión alrededor de elementos incorporados dentro del pavimento</i> _____	14
<b>Figura 5.</b> <i>Junta transversal</i> _____	15
<b>Figura 6.</b> <i>Junta longitudinal</i> _____	16
<b>Figura 7.</b> <i>Localización de las juntas longitudinales de doble sentido y de ancho a</i> _____	17
<b>Figura 8.</b> <i>Juntas en un cruce de vías</i> _____	17
<b>Figura 9.</b> <i>Ejemplo de diseño de juntas</i> _____	17
<b>Figura 10.</b> <i>Trayectoria de giro de un vehículo C3S2 (INVIAS, 2013)</i> _____	19
<b>Figura 11.</b> <i>Trayectoria de giro para un camión C2 (INVIAS, 2013)</i> _____	28

# INTRODUCCIÓN

Este manual ilustrará la forma en la que debe proceder en la elaboración de los informes y memorias de cálculo de estructuras de pavimentos en una Subestación Eléctrica, de igual forma se presentará las normas que debe basarse y además los criterios generales que debe tener en cuenta.

Por otra parte, este manual le permitirá agilizar la entrega del informe y la forma como debe entregarlo paso a paso. Se aclara también que este manual es general y no se adapta a las particularidades de cada proyecto, no obstante, le permitirá ser una guía general de los aspectos comunes y relevantes que debe contener las memorias e informes de diseño de pavimentos en una subestación eléctrica.

Finalmente se presentan algunas recomendaciones y comentarios en proyectos pasados respecto a los informes y memorias de cálculo de estructuras de pavimentos, con la finalidad de obtener un trabajo de calidad.

# DESCRIPCIÓN

Este manual se diseña con el propósito de sistematizar y agilizar la entrega de las memorias de cálculo de las estructuras de pavimentos en una subestación eléctrica en la empresa INGEMA S, ya sea pavimentos rígidos, flexibles o en afirmado.

Es un documento que contiene en forma ordenada y sistemática información y/o instrucciones sobre políticas, procedimientos y organización de memorias e informes, que se consideran necesarios para la mejor ejecución del trabajo.

# OBJETIVOS

- Dar los lineamientos, reglas y normas para realizar las memorias e informes de diseño de pavimentos de vías en una subestación eléctrica de la empresa INGEMA S.A
- Capacitar y el adiestrar al personal ingresante en el área de ingeniería y diseño.
- Sistematizar el proceso de elaboración de memorias de cálculo e informes de diseño de pavimentos en una SE
- Agilizar la entrega de memorias e informes de diseño de pavimentos en una SE.

# NORMAS DE DISEÑO

- AASHTO, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highways and Transportation Officials, Washington D.C, 1993.
- Manual INVIAS para diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios u altos volúmenes de tránsito.
- Manual INVIAS de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito 2013.
- Manual de Diseño geométrico INVIAS 2008
- Manual de mantenimiento de carreteras 2016. Volumen 2.

# DOCUMENTOS INTERNOS NECESARIOS

- Estudio de suelos
- Los criterios de diseño de obras civiles, en los cuales se enumeran los requisitos del cliente tanto como la descripción del proyecto y los materiales a usar.
- Especificaciones técnicas del proyecto.
- Diseño geométrico de vías.
- Memoria de movimiento de tierras.
- Plano del sistema de drenaje de la subestación.
- Resultados de ensayo de laboratorio CBR

A continuación, se describen los ítems necesarios para la presentación de un informe y memoria de cálculo de diseño de pavimentos en una subestación eléctrica. Las partes subrayadas y en negrilla son las que se deben cambiar. Las partes en negrilla y antecedidas con el símbolo a continuación: (\*) son consideraciones que debe tomar en cuenta para el diseño de los pavimentos. Si desea, puede dejar el contenido tal como se presenta.

# CONTENIDO TÍPICO DEL INFORME PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO RIGIDO

## 1. Objeto

En el presente informe se presentan los detalles de ingeniería para el diseño de las vías internas y de acceso en la subestación eléctrica nombre de la subestación, ubicada en el municipio nombre del municipio del departamento nombre del departamento.

## 2. Criterios de diseño

Se diseñará la vía de ¿Interna o de acceso? de la subestación en pavimento solicitado en las especificaciones técnicas y criterios de diseño.

¿Qué tipo de confinamiento se usará en el pavimento? ¿Bermas, bordillos o andenes?

(\*) Nota:

- Por lo general en las vías internas de una subestación se usan bordillos, debido a que el espacio es reducido, además de que reducen los esfuerzos de flexión y las deflexiones producidas por las cargas de los vehículos.
- El diseño por lo general se rige por los criterios de fatiga por acción de repetición de cargas y de erosión del material de fundación.
- La estructura del pavimento está definida por el ensayo CBR tomados en campo y anterior a la realización del informe de vías.
- El método más común en el diseño de pavimentos son la AASTHO y PCA, descritos en la normativa correspondiente, ya sea un pavimento rígido o flexible de los manuales de INVIAS.
- La pendiente de bombeo se define de tal manera que permita el drenaje de las vías a las cunetas proyectadas en el plano de drenajes de la subestación eléctrica.

## 3. Parámetros de diseño

- Tipo de vehículo de diseño: Camión de tres ejes con semirremolque de tres ejes (C3S3)
- (\*) ¿Cuántos vehículos C3S3 pasan por año en las vías? Se escoge 3 vehículos por año (1 C3S3/mes)
- Tipo de vehículo de diseño: Camión de tres ejes (C3)
- (\*) ¿Cuántos vehículos C3S3 pasan por año en las vías? Se escoge 20 vehículos por año (1 C3/semana)



#### 4. Tránsito y periodo de diseño

Son los principales factores de tránsito que inciden en el diseño del pavimento como el número y magnitud de las cargas más pesadas por eje, que se espera durante el periodo de diseño, estos valores se obtienen a partir de los siguientes numerales.

##### a) Periodo de diseño

Al ser vías de solo uso industrial, generalmente se usa un periodo de diseño de 20 años. Las vías dentro de la subestación se proyectan con bajo volumen de tránsito, razón por la cual se considera un periodo de diseño de 20 años.

##### b) Tránsito promedio diario (TDP)

El tránsito promedio diario es el número promedio de vehículos no comerciales que se estima que a diario transitarán por la vía **tipo de pavimento** que se está diseñando. En este caso, se estima que el tránsito promedio diario es de **generalmente de 10 a 20 vehículos.**

En el caso del montaje de los equipos se proyecta el paso de un camión cargado con los transformadores de potencia, se estima que este tipo de vehículo transmita una carga por eje mayor a 8.2 ton, pero dada su escasa repetitividad permite que se ajuste dentro del TPD como un vehículo de 8.2 ton por eje.

##### c) Tránsito promedio diario de vehículos comerciales (TPD-C)

Es el número promedio de vehículos comerciales que diariamente transitarán por la vía en las dos direcciones.

##### d) Categorías de tránsito para la elección de espesores

La categoría de tránsito de la vía determina el tipo y el uso que se le va a dar a la vía, lo que es fundamental a la hora de determinar un espesor de pavimento.

Dependiendo de nuestro TPD y ejes acumulados de 8.2t elegimos una categoría según la tabla 1 del manual de diseño de pavimentos de concreto (2008). Para este caso la vía es de categoría **escoger la categoría** y se considera una **vía terciaria (Vt) o estrecha (E).**

Categoría	Tipo de vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2 t
T0	(Vt) - (E)	0 a 200	< 1.000.000
T1	(Vs) - (M ó A) - (CC)	201 a 500	1.000.000 a 1.500.000
T2	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	501 a 1000	1.500.000 a 5.000.000
T3	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5.000.000 a 9.000.000
T4	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9.000.000 a 17.000.000
T5	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17.000.000 a 25.000.000
T6	(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	Más de 10.001	25.000.000 a 100.000.000

Tabla 1. Categoría de tránsito (INVIAS, 2008)

Donde, Vt: Vía terciaría  
 Vs: Vía secundaria  
 Vp: Vía principal  
 E: Estrechas  
 M: Medias  
 A: Anchas  
 CC: Carreteras de 2 direcciones  
 MC: Carreteras multicarriles  
 AP: Autopistas

(\*) Generalmente, para las subestaciones eléctricas, sus caminos son de categoría T0 y se considera vía terciaría (Vt) o estrecha (E).

## 5. Propiedades del estrato de apoyo (Subrasante)

Para el diseño del pavimento, el manual clasifica el suelo en cinco clases, esto se hace con base en la Relación de soporte de California del suelo -CBR- según norma INVE-148-07, estos valores están relacionados con el Módulo de reacción de la subrasante -k- que es el parámetro usado en las ecuaciones de diseño de pavimentos. De acuerdo con el estudio de suelos en la subestación se tiene un CBR promedio de Usar el porcentaje expuesto en el estudio del cbr, clasificando la subrasante como escoger de la tabla 2.

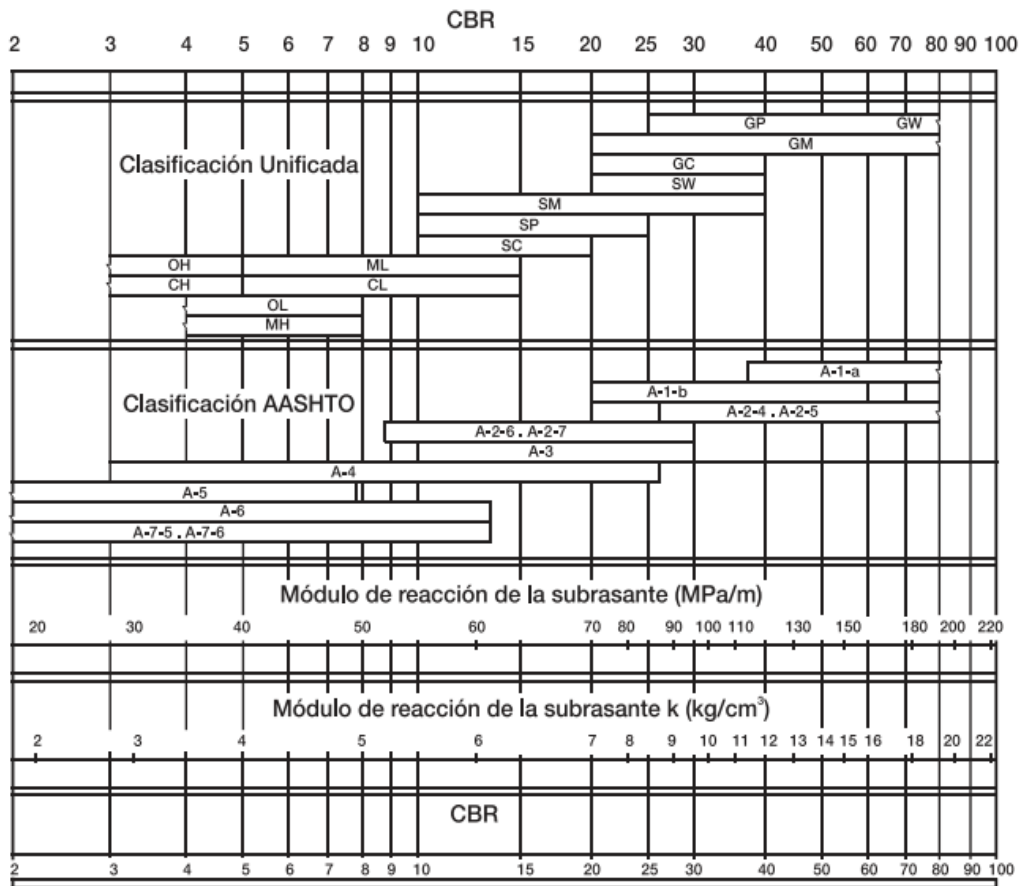
Clase o tipo	CBR (%)	Módulo resiliente ( $kg/cm^2$ )
S1	< 2	< 200
S2	2 - 5	200 - 500
S3	5 - 10	500 - 1.000
S4	20 - 10	1.0 - 2.000
S5	> 20	> 2.000

Tabla 2. Clasificación de la subrasante. (INVIAS, 2008)

### a) Módulo de reacción de la subrasante (k)

El módulo de reacción de la subrasante dice cuál es la presión que hay que ejercer sobre el suelo para que se presente una deformación determinada, que para el caso de los pavimentos es de 13 mm. De acuerdo con el estudio de suelos en la subestación se tiene un CBR promedio de colocar el cbr del estudio y usando la figura 1 expuesta en manual de diseño de pavimentos de concreto que relaciona este valor con el módulo de reacción de la subrasante, se tiene que el módulo de reacción de la subrasante es aproximadamente Colocar el valor de obtenido en la figura 1.

Figura 1. Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K. (INVIAS, 2008)



## 6. Material de soporte para el pavimento

Es importante considerar sobre que material se construirá el pavimento, como se indica en la Tabla 4, puede ser el suelo natural, las bases granulares (Artículo INV-330-07) y las bases estabilizadas con cemento (Artículo INV-341-07).

Denominación	Descripción
SN	Subrasante Natural
BG	Base Granular
BEC	Base estabilizada con cemento

(\*) Para escoger el valor del espesor del material de soporte escogido anteriormente, debe tener en cuenta el valor K, el módulo de reacción de la subrasante y remitirse a las tablas 2-15 y 2-16 según sea su caso del manual de INVIAS (2008), expuestas a continuación.

Valor de k para subrasante		Valor de k para la base							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>
20	73	23	85	26	96	32	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Tabla 2-15. Influencia del espesor de la base granular en el valor de k

Valor de k para subrasante		Valor de k para la base							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>	MPa/m	Lb/pulg <sup>3</sup>
20	73	603	220	80	300	105	400	134	500
40	147	100	370	130	500	185	680	230	850
60	220	140	520	190	700	245	900		

Tabla 2-16. Influencia del espesor de la base de suelo cemento en el valor de k

Tabla 3. Tablas para espesores del material de apoyo del pavimento. (INVIAS, 2008)

## 7. Características del concreto- Módulo de rotura

Para los diseños de los pavimentos se debe tener en cuenta lo indicado en la Tabla 4 expuesta en manual de diseño de pavimentos de concreto, en la que se tienen 4 calidades de concreto. Según los términos de referencia, la resistencia a flexión no debe ser menor a escoger el valor del documento de especificaciones técnicas. Por lo tanto, se decide usar un colocar el valor de la tabla 4.

Descripción	Resistencia a la flexión ( $\frac{kg}{cm^2}$ )
MR1	38
MR2	40
MR3	42
MR4	45

Tabla 4. Resistencia a la flexión del concreto (Módulo de rotura). (INVIAS, 2008)

## 8. Cálculo del espesor de pavimento.

Se diseñará un pavimento en concreto simple, el cual resiste las tensiones producidas por el tránsito y las variaciones de temperatura y humedad.

### a) Categoría y soporte

Según las tablas presentadas en los capítulos anteriores se considera una vía terciaria (**T#**), una subrasante con un CBR de **#%** (**S#**), con confinamiento lateral por **tipo de confinamiento**, juntas transversales, con dovelas (D y B), construida sobre **material de soporte del pavimento**, un módulo de rotura del concreto por diseño de **# MPa** (**MR#**).

### b) Espesor de la losa

Para determinar el espesor de la losa de las vías internas, se utilizará la información de la Tabla 5, de esta se obtiene que para una vía con las características mencionadas en el numeral anterior es conveniente que el espesor de la losa sea **colocar el valor escogido de la tabla 5** para cumplir con los requerimientos de tránsito de vehículos comerciales.

Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables																							
Tránsito T0																							
		S1				S2				S3				S4				S5					
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B		
SN	MR1			24	28	23	27	23	27	21	24	21	24	20	24	20	24	20	23	20	23		
	MR2			23	27	22	26	22	26	20	24	20	24	20	23	20	23	19	22	19	22		
	MR3			23	26	21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22		
	MR4			21	24	20	24	20	24	19	22	19	22	18	21	18	21	18	21	18	21		
BG	MR1			23	26	22	26	22	26	21	24	21	24	20	23	20	23	20	23	20	23		
	MR2			22	25	21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22		
	MR3			21	24	20	24	20	24	20	23	20	23	19	22	19	22	18	21	18	21		
	MR4			20	23	19	23	19	23	20	23	20	23	18	21	18	21	17	20	18	20		
BEC	MR1			20	23	19	22	19	22	18	21	18	21	18	20	18	20	17	20	17	20		
	MR2			19	22	19	21	19	21	17	20	17	20	17	20	17	20	17	19	17	19		
	MR3			18	21	18	21	18	21	17	19	17	19	16	19	17	19	16	19	17	19		
	MR4			18	20	17	20	18	20	16	19	17	19	16	18	17	18	15	18	17	18		

Tabla 5-2. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables – T0

Tabla 5. Espesores de losa de concreto para de acuerdo con la combinación de variables- T0 (INVIAS, 2008)

(\*) Debido a que es frecuente que el tipo de tránsito en una Subestación Eléctrica es T0, se decide colocar solo esta tabla en este documento. No obstante, si el proyecto tiene otro tipo de tránsito, debe asegurarse de escoger la tabla correcta,

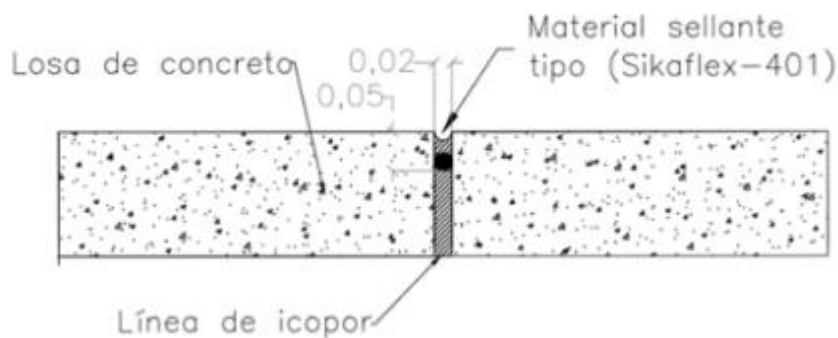
## 9. Juntas en el pavimento

En el pavimento se generan esfuerzos debido a los movimientos de contracción y expansión del concreto a diferentes temperaturas o grados de humedad entre la superficie y el apoyo de la losa(alabeo), estos esfuerzos se controlan dimensionando las losas que conforman el pavimento y ubicando estratégicamente las juntas.

### a) Juntas de expansión o de aislamiento

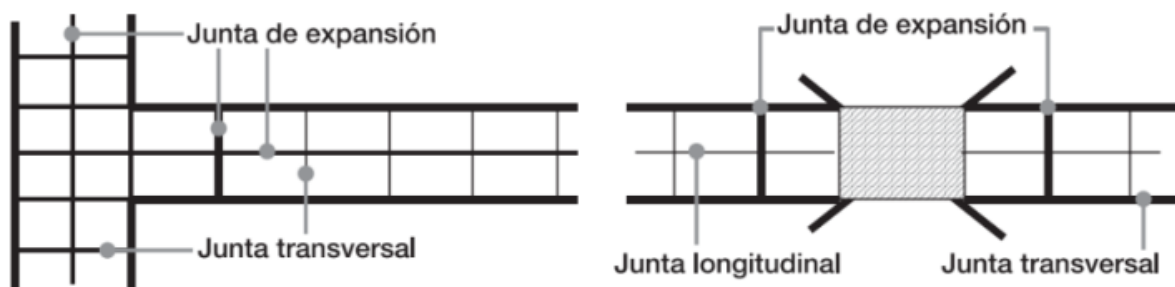
Reciben este nombre las juntas que se hacen dentro del pavimento para aislarlo de otras estructuras, de otros pavimentos, o cuando hay cambios bruscos de dirección. Pueden tener forma de línea recta, cuando se construye con el fin de aislar los pavimentos de concreto de otros tipos de pavimentos, cuando se presentan cambios bruscos de dirección, en las intersecciones viales o cuando es necesario aislar el pavimento de estructuras fijas. Se puede observar el detalle de la junta en la Figura 2.

**Figura 2.** Detalle de junta de expansión o de aislamiento



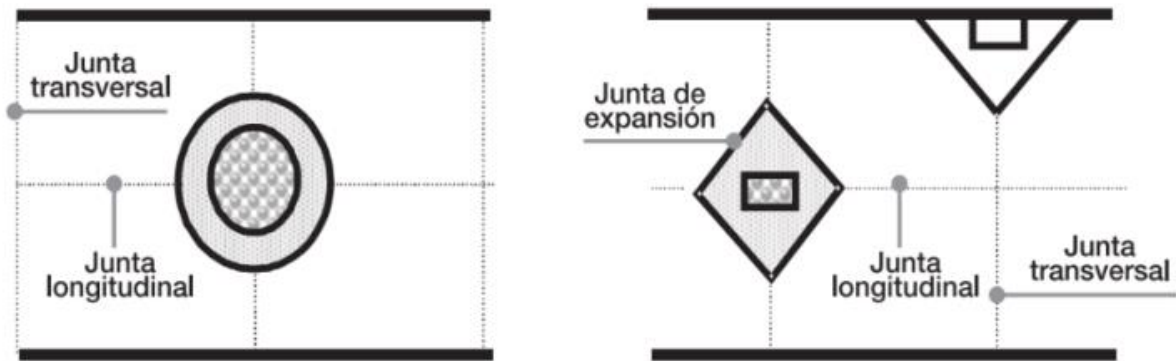
La distribución geométrica de las juntas se inicia con la definición de los lugares en los cuales se colocan las juntas de expansión o aislamiento, que por regla general se localizan en la losa anterior al punto en donde se presenta la particularidad, como se indica en la Figura 3. En el caso de intersecciones, se recomienda que la junta de expansión se construya sobre la vía de menor importancia.

**Figura 3.** Juntas de expansión en las intersecciones y cerca algún obstáculo



Las juntas de expansión alrededor de elementos incorporados dentro del pavimento, tales como sumideros, cámaras de inspección o cajas, deben estar como mínimo a 300 mm de los bordes de dichos elementos y su forma deber ser poligonal, circular, o semicircular, como se observa en la en la Figura 4.

Figura 4. Juntas de expansión alrededor de elementos incorporados dentro del pavimento



Cuando se trate de juntas de expansión o aislamiento con una forma poligonal, hay que construir juntas longitudinales o transversales, contracción, en cada uno de los vértices del polígono. Si la junta de aislamiento tiene forma circular o semicircular, de ella debe salir al menos una junta longitudinal o transversal de contracción.

#### b) Juntas entre placas

Se utilizarán varillas de transferencia de cargas. Las varillas de transferencia de carga, conocidas como pasadores de carga, o dovelas, son, barras de acero cortas y lisas con un límite de fluencia ( $f_y$ ) mínimo de 280 MPa (2800 kg/cm<sup>2</sup> o 60000 psi), de acuerdo con el Artículo INV 500-07 y el Artículo INV 640-07.

Los pasadores se deben colocar en la mitad del espesor de las losas, paralelos entre sí, al eje longitudinal de la vía y a la superficie del pavimento, con una tolerancia medida en el extremo del pasador que no sobrepase los 10 mm respecto a la posición teórica. La manera más eficiente de lograr esto, es la de colocar los pasadores sobre unos soportes hechos con varillas, que quedan embebidos en el concreto. Las dimensiones y las separaciones de las barras se escogen de la tabla 6, obtenida del manual de INVIAS.

Espesor del pavimento	Diámetro del pasador		Longitud (mm)	Separación entre centros (mm)
	mm	Pulgada		
0-100	13	½	250	300
110-130	16	5/8	300	300
140-150	19	¾	350	300
160-180	22	7/8	350	300
190-200	25	1	350	300
210-230	29	1 1/8	400	300
240-250	32	1 ¼	450	300
260-280	35	1 3/8	450	300
290-300	38	1 ½	500	300

Tabla 6. Dimensionamiento de pasadores de carga. (INVIAS, 2008)



### c) Juntas transversales de contracción

Son las juntas que se construyen transversalmente a la línea central del pavimento y están debidamente espaciadas para controlar la fisuración generada por la retracción y por los cambios de humedad y temperatura.

Para pavimentos rígidos de concreto simple, la separación entre estas juntas debe ser máximo de 6.00 m.

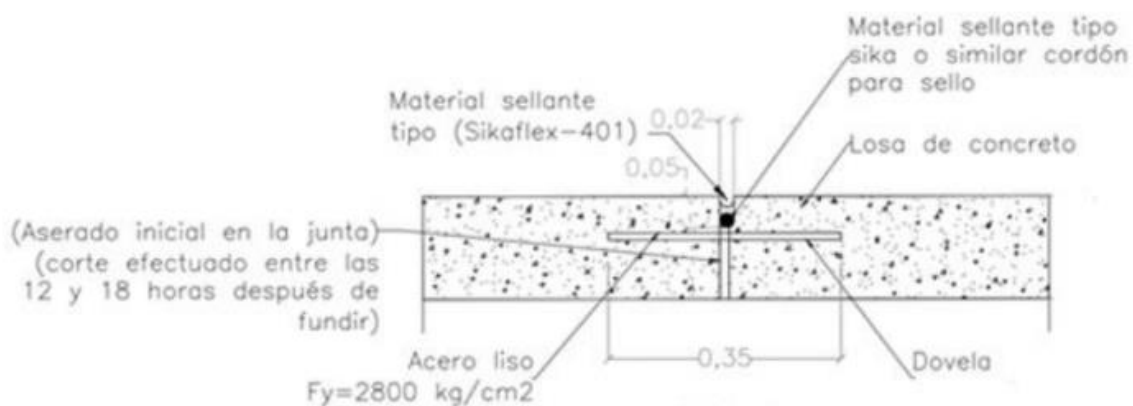
### d) Juntas transversales de construcción

Son las juntas que se generan al finalizar las labores diarias o cuando por cualquier motivo se suspende la instalación del concreto. Siempre se construirán perpendiculares al eje de la vía.

El espaciamiento entre las juntas transversales debe estar comprendido entre 3,60 y 5,0 m y la relación entre el largo y ancho de las losas debe oscilar entre 1 y 1,3.

Como recomendación general, las losas que sean lo más cuadradas posible, tendrán un mejor comportamiento estructural. En la Figura 5 se puede ver un detalle de este tipo de junta.

Figura 5. Junta transversal



### e) Juntas longitudinales de contracción

Son las juntas que dividen los carriles y controlan el agrietamiento cuando se construyen 2 o más carriles simultáneamente, y siempre que se tengan franjas de más de 4.50 m de ancho.

Para pavimentos rígidos de concreto simple, la separación entre estas juntas debe ser máximo de 3.50 m. Según el ancho de las vías en la subestación, se deberán colocar juntas longitudinales cada 3.00 m.

Adicionalmente se dotarán las juntas longitudinales con barras de anclaje con el fin impedir el desplazamiento de las losas de un carril, respecto a las del otro. La selección del diámetro, separación, longitud y resistencia de las barras de anclaje se puede observar en la Tabla 7 del manual de diseño de pavimentos de concreto.



Espesor de losa (mm)	Barras de $\phi$ 9,5 mm (3/8")			Barras de $\phi$ 12,7 mm (1/2")			Barras de $\phi$ 15,9 mm (5/8")					
	Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)		
		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)
<b>Acero de <math>f_y = 187,5</math> MPa (40.000 psi)</b>												
150	0,45	0,80	0,75	0,65	0,60	1,20	1,20	1,20	0,70	1,20	1,20	1,20
175		0,70	0,60	0,55		1,20	1,10	1,00		1,20	1,20	1,20
200		0,60	0,55	0,50		1,05	1,00	0,90		1,20	1,20	1,20
225		0,55	0,50	0,45		0,85	0,85	0,80		1,20	1,20	1,20
250		0,45	0,45	0,40		0,85	0,80	0,70		1,20	1,20	1,10
<b>Acero de <math>f_y = 280</math> MPa (60.000 psi)</b>												
150	0,65	1,20	1,10	1,00	0,85	1,20	1,20	1,20	1,00	1,20	1,20	1,20
175		1,05	0,95	0,85		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
200		0,90	0,80	0,75		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
225		0,80	0,75	0,65		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
250		0,70	0,65	0,60		1,20	1,15	1,10		1,20	1,20	1,20

Tabla 7. Recomendación para las barras de anclaje. (INVIAS, 2008)

#### f) Juntas longitudinales de construcción

Son las juntas que se generan longitudinalmente cuando los carriles se construyen en momentos diferentes. Estas juntas siempre se deberán hacer coincidir con las juntas longitudinales de contracción. En la Figura 6 se ve un detalle de este tipo de junta.

Luego de localizar las juntas de aislamiento o expansión, se define la posición de las juntas longitudinales, teniendo en cuenta la dimensión de los equipos de construcción, el ancho de la vía a pavimentar y las restricciones constructivas, se deben evitar siempre que la separación entre dos juntas longitudinales (ancho de las losas), sea mayor que cuatro metros, atendiendo las recomendaciones entre la Figura 7 y la Figura 9.

Figura 6. Junta longitudinal

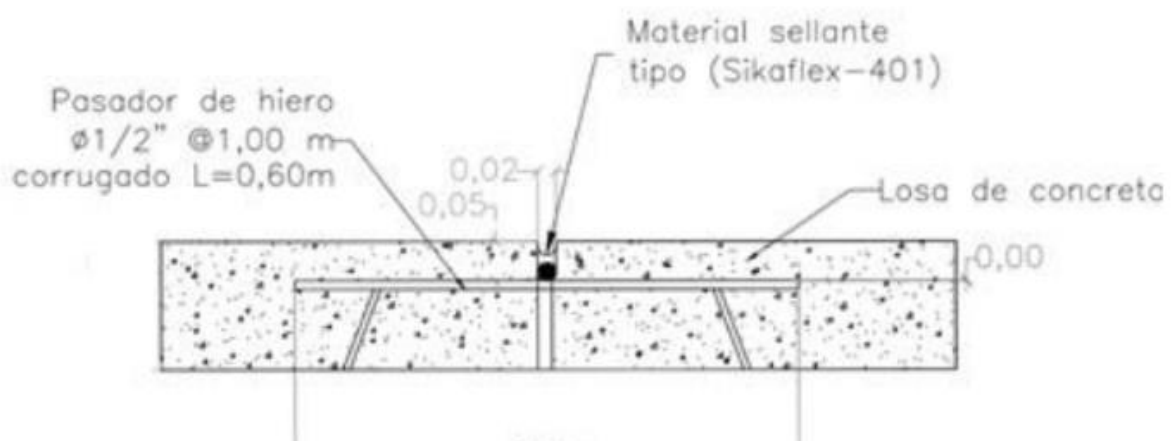


Figura 7. Localización de las juntas longitudinales de doble sentido y de ancho  $a$

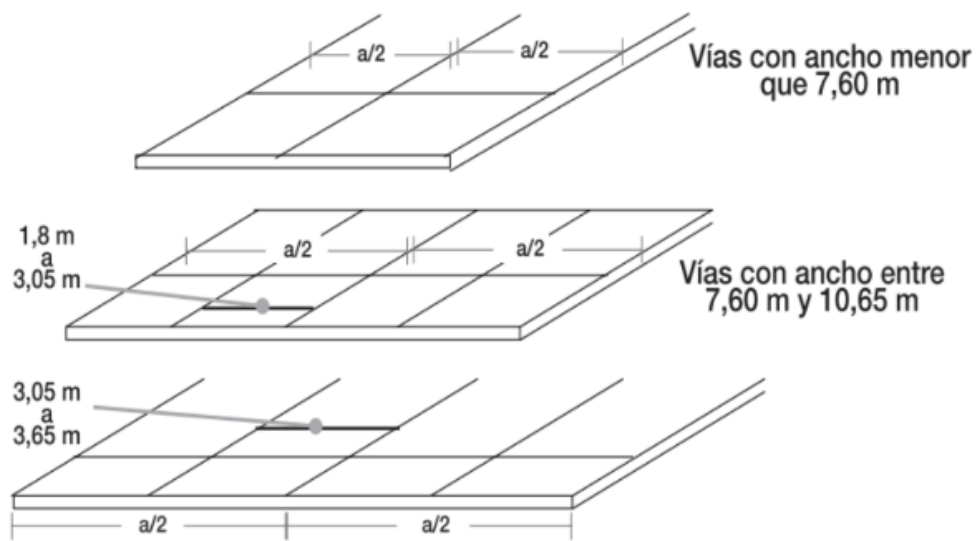


Figura 8. Juntas en un cruce de vías

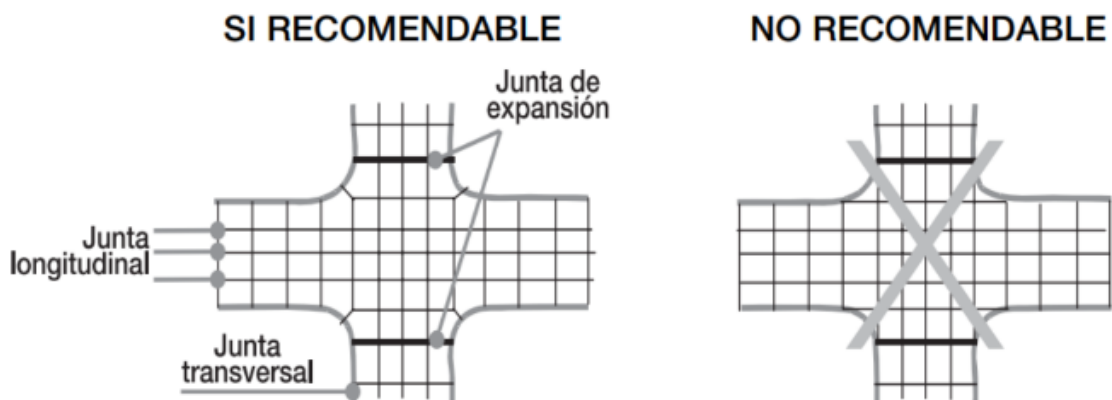
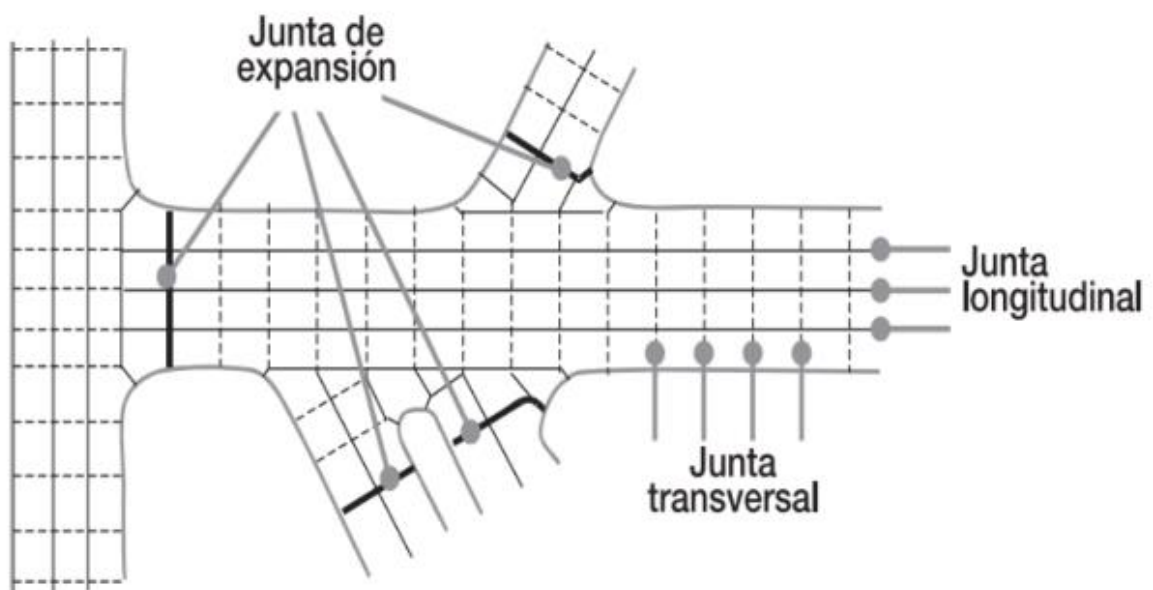


Figura 9. Ejemplo de diseño de juntas



## 10. Acero de refuerzo

Según el Artículo INV 500-07 se requiere la instalación de, al menos, una parrilla de refuerzo en las losas que tengan las siguientes características:

- Longitud de la losa (mayor dimensión en planta) superior a 24 veces el espesor de esta.
- Losas con relación largo/ancho mayor que 1.4
- Losas de forma irregular (diferente de la rectangular o cuadrada)
- Losas con aberturas en su interior para acomodar elementos tales como pozos de inspección o sumideros.
- Losas en las cuales no coinciden las juntas con las de las losas adyacentes.

## 11. Velocidad de diseño

Por tratarse de una vía privada y con un TPD bajo, se considera como el diseño de un tramo homogéneo y se escoge una velocidad máxima de 20 km/h, para la circulación de vehículos al interior de la subestación.

## 12. Pendiente de diseño

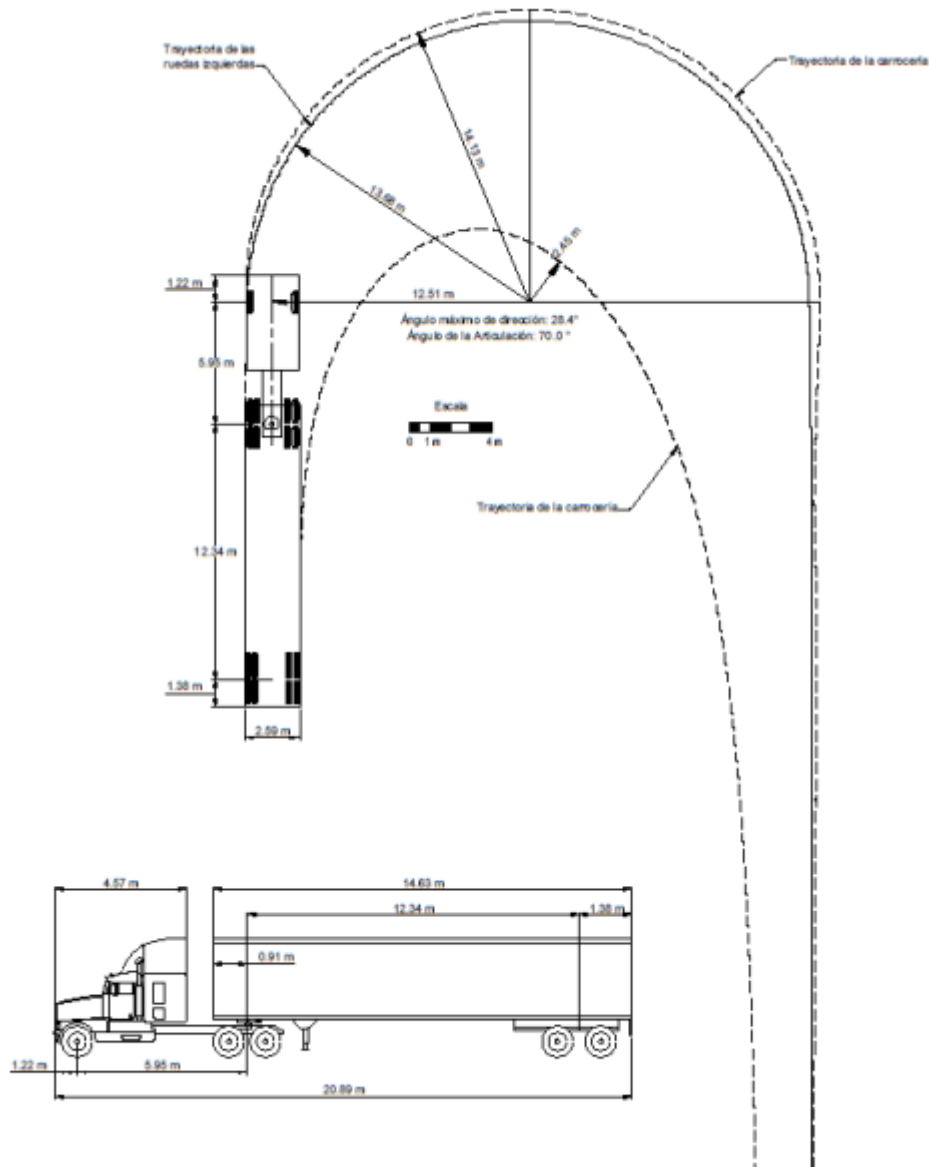
La pendiente mínima de bombeo y pendiente mínima longitudinal es de 0.50%, garantizando el fácil escurrimiento de las aguas lluvias en la superficie de rodadura.

## 13. Dimensiones y trayectorias

Las vías internas y de aproximación se proyectan con un ancho de calzada de 7 m como se presenta en la disposición física, empalmando con dimensiones de la vía externa. Para establecer el ancho mínimo se tuvo en cuenta la trayectoria de la proyección delantera exterior del ancho del vehículo.

Se expone el caso más crítico que generalmente en las Subestaciones Eléctricas son los vehículos C3-S2, como se ilustra en la figura 10.

Figura 10. Trayectoria de giro de un vehículo C3S2 (INVIAS, 2013)



## 14. Documentos de referencia

Como todo documento de cálculo, el cuál se basa en otros, se debe dar la respectiva autoría de donde se sacó la información, evitando así el plagio u otros problemas legales.

# CONTENIDO TÍPICO DEL INFORME PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE

## 1. Objeto

En el presente informe se presentan los detalles de ingeniería para el diseño de las vías internas y de acceso en la subestación eléctrica nombre de la subestación, ubicada en el municipio nombre del municipio del departamento nombre del departamento.

## 2. Alcance

El alcance de este documento consiste en presentar el diseño de las estructuras de pavimento flexible correspondientes a las vías internas o externas de la subestación eléctrica nombre de la subestación. El diseño presenta las siguientes características:

- La carpeta de rodadura será en pavimento asfáltico.
- El ancho de las vías será de definir el ancho según el plano de la disposición física de la subestación.

## 3. Diseño de pavimento flexible

Los diseños y metodología utilizados para dimensionar la estructura de pavimento están basados en el manual de diseño de pavimentos asfálticos, para vías con bajos volúmenes de tránsito del instituto nacional de vías. Se tuvo en cuenta la guía AASTHO tomando algunos criterios y correlaciones que se han considerado particularmente útiles dado el nivel de detalle requerido por el diseño de pavimentos. El período de diseño puede ser definido como el lapso transcurrido desde que se entrega al servicio la estructura, hasta que los deterioros producidos por el tránsito y los agentes ambientales normales hacen que la vía pierda su funcionalidad.

## 4. Parámetros de diseño

Para el diseño de vías en pavimentos asfáltico con bajos volúmenes de tránsito, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros de diseño:

- Nivel de Tránsito
- Clima
- Categoría de la subrasante

## 5. Tránsito y periodo de diseño

Son los principales factores de tránsito que inciden en el diseño del pavimento como el número y magnitud de las cargas más pesadas por eje, que se espera durante el periodo de diseño, estos valores se obtienen a partir de los siguientes numerales

### a) Periodo de diseño

Al ser vías de solo uso industrial, generalmente se usa un periodo de diseño de 20 años. Las vías dentro de la subestación se proyectan con bajo volumen de tránsito, razón por la cual se considera un periodo de diseño de 20 años.

### b) Tránsito

Considera el número de las cargas por eje que se esperan aplicadas al pavimento durante su periodo de vida, Para el cálculo de los ejes equivalentes, el método recomienda utilizar la metodología de la AASHTO, en su versión 1993. Donde para el cálculo del tránsito, este se contemplan los ejes equivalentes sencillos de 18,000 lb (8.2 ton) acumulados durante el período de diseño. Usando las siguientes ecuaciones:

$$N = (N_o - N_c) \frac{(1 + r^n) - 1}{r} + N_c$$

$$N_o = (N_i + N_a + N_g) \times Fca \times Fd \times N_c$$

Donde,

$N_o$ : Numero de ejes equivalentes de 8.2 ton que circulan por el carril de diseño en el año base o de puesta en servicio del pavimento.

$N_c$ : Numero de ejes equivalentes de 8.2 ya soportados por el carril de diseño del pavimento durante la construcción del mismo.

$r$ : Tasa anual de crecimiento de tránsito

$N_i$ : Numero de ejes equivalentes de 8.2 ton en el año de la medición del tránsito o proyecto del pavimento, corregido por el tiempo transcurrido entre este y la puesta en servicio del pavimento

$N_a$ : Numero de ejes equivalentes de 8.2 en el año base o puesta en servicio atraído de otras carreteras

$N_g$ : Numero de ejes equivalentes de 8.2 en el año base o puesta en servicio generados por las mejoras del pavimento

$Fd$ : Factor de distribución direccional

$Fca$ : Factor Camión

**c) Categorías de tránsito para la elección de espesores**

La categoría de tránsito de la vía determina el tipo y el uso que se le va a dar a la vía, lo que es fundamental a la hora de determinar un espesor de pavimento.

Dependiendo de nuestro TPD y ejes acumulados de 8.2 t y se escoge de acuerdo a la normativa.

**d) Tránsito promedio diario (TDP)**

El tránsito promedio diario es el número promedio de vehículos no comerciales que se estima que a diario transitarán por la vía **tipo de pavimento** que se está diseñando. En este caso, se estima que el tránsito promedio diario es de **generalmente de 10 a 20 vehículos.**

En el caso del montaje de los equipos se proyecta el paso de un camión cargado con los transformadores de potencia, se estima que este tipo de vehículo transmita una carga por eje mayor a 8.2 ton, pero dada su escasa repetitividad permite que se ajuste dentro del TPD como un vehículo de 8.2 ton por eje.

**e) Tránsito promedio diario de vehículos comerciales (TDP-C)**

Es el número promedio de vehículos comerciales que diariamente transitarán por la vía en las dos direcciones.

Comparando el TPDS y el TPD-C, se estima que el porcentaje de vehículos pesado que transitará por el carril de diseño será del orden del 10%.

**f) Tasa anual de crecimiento de tránsito**

Generalmente se estima que la tasa anual de crecimiento del tránsito será del 2%. No obstante, si tiene un estudio previo, se debe usar el valor correspondiente.

**g) Factor de distribución para el carril de diseño (fca)**

De acuerdo con el numeral 2.7 del manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, este se toma según el número de carriles expuestos en la tabla 8.

Número total de carriles en cada dirección	Factor de distribución para el carril de diseño (Fca)
1	1
2	0.9
3	0.75

Tabla 8 Factor de distribución para el carril de diseño (Fca). (INVIAS, 2008)

#### h) Distribución direccional (Fd)

De acuerdo con INVIAS (2008), la distribución direccional se expone en la tabla 9.

Ancho de la calzada	Tránsito de diseño	Fd
Menos de 5 m	Total, en los dos sentidos	1.0
Igual o mayor de 5 m y menor de 6 m	$\frac{3}{4}$ del total en los dos sentidos	0.75
Igual o mayor de 6 m	$\frac{1}{2}$ del total en los dos sentidos	0.50

Tabla 9. Distribución direccional. (INVIAS, 2008)

#### i) Factor camión (FC)

“Se entiende por factor camión al número de aplicaciones de ejes sencillos con carga equivalente de 8.2 toneladas, correspondiente al paso de un vehículo comercial” (Montejo , 2002), dicho factor se expone a continuación en la tabla 10, el cual se basa en los datos obtenidos por el Mopt-Ingeroute y la Universidad del Cauca.

Tipo de vehículo	Factores de equivalencia	
	Mopt-Ingeroute	Universidad del Cauca
C2 pequeño	-	1.14
C2	1.4	-
C2 grande	-	3.44
C3	2.4	3.76
C2S1	-	3.37
C4	3.67	6.73
C3S1	-	2.22
C2S2	-	3.42
C3S2	4.67	4.40
C3S3	5.0	4.72
BUS P-600	-	0.40
BUS	0.2	-
BUS P-900	-	1
Buseta	-	0.05

Tabla 10. Factor Camión (FC). (Montejo , 2002)

#### j) Ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño

Dado que generalmente no existe serie histórica de tránsito, pues son vías de bajos volúmenes de tránsito, la componente se puede estimar. La componente de tránsito normal se puede realizar a partir de un conteo vehicular, no obstante, en



una Subestación eléctrica se considera, generalmente, un tránsito atraído de 10 % y un tránsito generado del 15 %.

Posteriormente se procede a calcular el número de ejes equivalentes en el carril de diseño (tránsito normal) en el año mediante la siguiente ecuación enunciada en el manual de INVIAS (2008).

$$N = (N_o - N_c) \frac{(1 + r^n) - 1}{r} + N_c$$

## 6. Clima

Se toma como base la estación meteorológica más cercana al proyecto, además se debe realizar el estudio hidrológico expuesto en el documento interno de drenajes de la subestación. Luego, se realiza la categoría, la cual, según INVIAS (2008) se basa en los resultados del balance hídrico del suelo y utiliza la evapotranspiración potencial anual, la precipitación media anual, el exceso de agua anual y el déficit de agua anual. La categorización se ilustra en la tabla 11 sacada del manual de diseño de pavimentos asfálticos para bajos volúmenes.

No	Región	Temperatura TMAP (°C)	Precipitación media anual (mm)
R1	Fría seca y fría semihúmeda	<13	< 2000
R2	Templado seco y templado semihúmedo	13 - 20	< 2000
R3	Cálido seco y Cálido semihúmedo	20 - 30	< 2000
R4	Templado húmedo	13 - 20	2000 - 4000
R5	Cálido húmedo	20 - 30	2000 - 4000
R6	Cálido muy húmedo	20 - 30	> 4000

Tabla 11. Clasificación climática (INVIAS, 2008)

## 7. Confiabilidad

En el diseño de una estructura de pavimento la confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento diseñado, se comporte satisfactoriamente en el periodo de diseño bajo las cargas esperadas del tráfico, los parámetros geotécnicos y condiciones ambientales previstas. Considerando la tipología de las vías del proyecto, se relaciona un nivel de confiabilidad de acuerdo con la metodología AASHTO expuestas en la tabla 12.

Clasificación funcional de la vía	Nivel recomendado de confiabilidad (%)	
	Urbana	Rural
Autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterías principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Tabla 12. Confiabilidad. (INVIAS, 2008)

## 15. Desviación normal (Zr)

Permite incluir un grado de seguridad en el proceso de diseño para que las alternativas de estructuras propuestas se comporten satisfactoriamente frente a las condiciones de tránsito y ambientales que se generen en el período de diseño. Los valores se exponen en la tabla 13 presente a continuación, los cuales dependen del valor escogido de la confiabilidad y suponiendo una distribución normal.

Confiabilidad (%)	Zr
70	0.524
75	0.674
80	0.842
85	1.036
90	1.282
95	1.645
96	1.751
97	1.881
98	2.055
99	2.328

Tabla 13. Valores del parámetro Zr (INVIAS, 2008)

Posteriormente se realiza el nivel de confiabilidad con la ecuación enunciada a continuación.

$$N' = 10^{0.05 \cdot Z_r} * N$$

Una vez calculado el nivel de confianza y según los rangos de tránsito acumulados por carril de diseño, se tiene que la designación de tránsito: **De acuerdo con la tabla 14**

Designación	Rangos de tránsito acumulado por carril de diseño
T1	0.5- 1 x 10 E6
T2	1 - 2 x 10 E6
T3	2 - 4 x 10 E6
T4	4 - 6 x 10 E6
T5	6 - 10 x 10 E6
T6	10 - 15 x 10 E6
T7	15 - 20 x 10 E6
T8	20 - 30 x 10 E6
T9	30 - 40 x 10 E6

Tabla 14. Rangos de tránsito (INVIAS, 2008)

## 16. categoría de la subrasante

Con el fin de evaluar las propiedades físicas del estrato en donde será cimentada la futura estructura de pavimento para las vías del proyecto, se analizó la información de los ensayos de CBR en estado inalterado y sumergido.

**(\*) Resaltar que una de las condiciones para realizar los informes de diseño de estructuras de pavimento, son los estudios de la capacidad de la subrasante, por eso, debe usted remitirse al documento mencionado y colocar el valor en este espacio.**

- **Módulo de residencia:** para el diseño de los espesores de una sección estructural del pavimento flexible, el método actual del Instituto del Asfalto considera como parámetro fundamental, dentro de la evaluación de los materiales, la obtención del Módulo de Respuesta (Mr) de la subrasante, con recomendaciones del método de prueba descrito en el Manual de suelos MS-10 del propio Instituto.

Alternativamente, han establecido factores de correlación entre Mr y la prueba estándar del CBR.

$$\text{Mr (kgf/cm}^2\text{)} = 100 \text{ CBR}$$

$$\text{Mr (MPa)} = 10.3 \text{ CBR}$$

$$\text{Mr (lb/plg}^2\text{)} = 1500 \text{ CBR}$$

**(\*) Se aclara que las anteriores correlaciones sólo se aplican a materiales de la capa subrasante, no sirviendo para materiales granulares que se pretendan emplear en las capas de subbase o de la base.**

**Si no se cuenta con correlaciones particulares para la zona del proyecto se debe emplear la correlación  $\text{Mr (kgf/cm}^2\text{)} = 100 \text{ CBR}$ . De acuerdo con las correlaciones anteriores  $\text{Mr} > 1500 \text{ kg/cm}^2$**

Finalmente, con lo datos obtenidos anteriormente, se procede a escoger la categoría de la subrasante de acuerdo con la tabla 15.

Categoría	CBR (%)	Comportamiento como Subrasante
S1	$CBR \leq 3$	Malo
S2	$3 < CBR \leq 5$	Regular
S3	$5 < CBR \leq 10$	Bueno
S4	$CBR > 10$	Muy Bueno

Tabla 15. Categoría de la subrasante. (Montejo , 2002)

## 17. Dimensionamiento de la estructura.

Con la anterior información, se remite a las cartas de diseños de pavimentos asfálticos en vías con bajos volúmenes de tránsito, donde se dimensiona la estructura, basada en los siguientes parámetros:

- Rango de tránsito
- Resistencia del suelo (Categoría de la subrasante)
- Región climática

De la carta presentada en el manual de INVIAS para diseño de la estructura se escoge la que mejor se acomode a los parámetros anteriores.

## 18. Diseño geométrico

El diseño de esta vía está orientado a permitir la circulación de los vehículos que transportaran los equipos al interior de la Subestación, para este caso se trata de vehículos pesados con capacidad de transporte de carga.

Los aspectos más importantes a tener en cuenta son:

### a) Velocidad de diseño

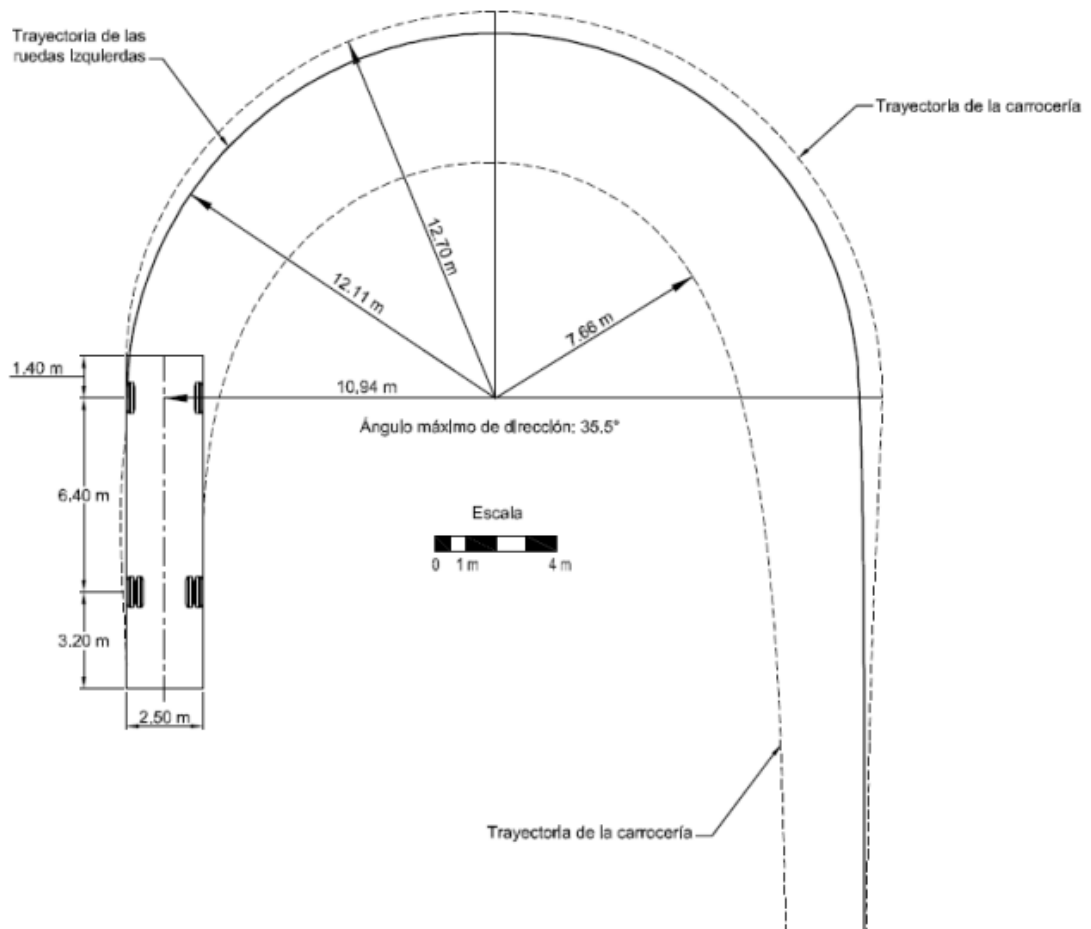
Por tratarse de una vía privada y con un TPD bajo, se considera como el diseño de un tramo homogéneo y se escoge una velocidad de 30 km/h, para la circulación de vehículos al interior de la subestación.

### b) Dimensiones y trayectorias de giro

El trazado de las vías internas de la subestación se proyecta con un ancho de calzada de Valor según la disposición física de la subestación, para permitir la circulación de los camiones.

Para establecer los radios de giro mínimos se tuvo en cuenta la trayectoria de la proyección delantera exterior del ancho del vehículo, trayectoria de la rueda interior trasera y radio mínimo de giro del eje central del vehículo, las dos primeras trayectorias (exterior e interior) definen un espacio mínimo para realiza un giro de 90° y 180° como se ilustra en la figura 11, un ejemplo para un camión C2. Estas trayectorias se pueden encontrar en el manual de diseño geométrico de INVIAS.

Figura 11. Trayectoria de giro para un camión C2 (INVIAS, 2013)



### c) Curvas horizontales y verticales

Para los empalmes de los tramos rectos se usarán curvas circulares simples, donde la curvatura es constante e inversamente proporcional al valor del radio tratándose de una curvatura rígida

### d) Pendiente del diseño

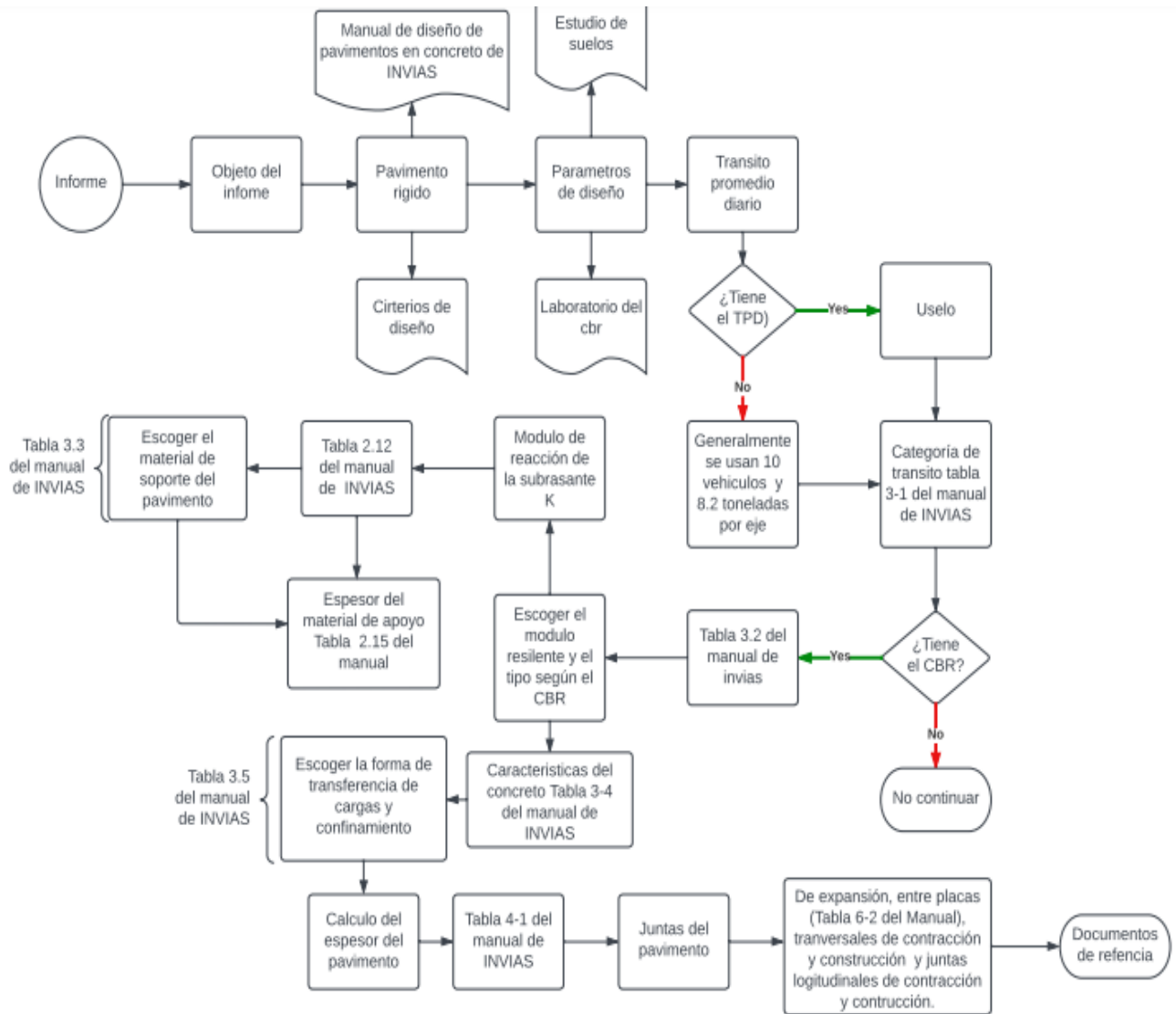
La pendiente transversal que se le da a la subrasante para facilitar el escurrimiento superficial del agua se denomina bombeo, y para vías con acabado de superficie de rodadura en la vía se presenta bombeo con valor de 0.5%

## 19. Referencias

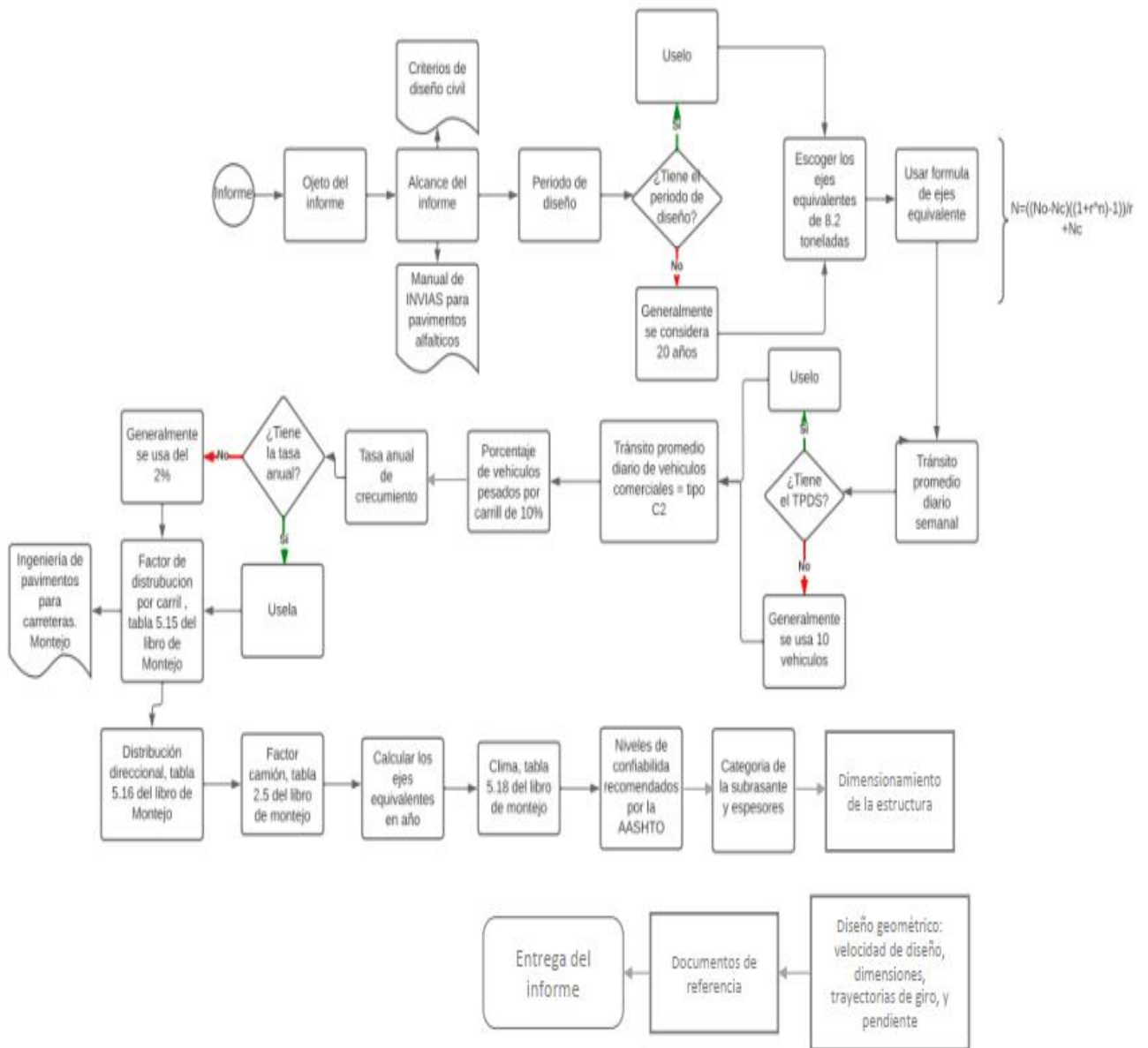
Como todo documento de cálculo, el cual se basa en otros, se debe dar la respectiva autoría de donde se sacó la información, evitando así el plagio u otros problemas legales.

# DIAGRAMAS BPMN

## 1. Diagrama BPMN para vías en pavimento rígido.



## 2. Diagrama BPMN para vías en pavimento flexible y en afirmado



# COMENTARIOS TÍPICOS A LOS INFORMES Y MEMORIAS DE CÁLCULO

- En el estudio de suelos no se presenta el CBR indicado ni concuerda con el especificado en el plano, verificar el diseño teniendo en cuenta este valor. Considerar el diseño para diferentes valores de CBR.
- Teniendo en cuenta que se obtuvieron los diferentes parámetros de diseño, evaluar por la metodología seleccionada o la comparación de métodos, los espesores mínimos requeridos.
- Se recomienda que la memoria se actualice considerando las condiciones reales en cuanto a las características de subrasante encontradas en sitio durante la construcción. El diseño actual considera una capacidad de soporte del suelo de 5 a 10%, y dada la información de sitio esta puede ser <<3%. Por lo que se proponen dos alternativas.
- Realizar una estimación de espesor de reemplazamiento con el fin de llegar a un CBR equivalente a nivel de subrasante de 5 a 10%.
- Considerar una combinación entre lo indicado anteriormente y un geotextil de refuerzo, si se quisiera reducir movimiento de tierra.
- La alternativa informada en cuando al reemplazamiento total del material blando existente se puede aceptar, pero hay que tener claro que se puede llegar a realizar movimientos de tierra mayores a los que razonablemente pueden ser requeridos.



## REFERENCIAS

- INVIAS. (2008). *Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito*. (M. d. transporte, Ed.) Colombia .
- INVIAS. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías de bajos, medios y altos volúmenes de tránsito*. Colombia.
- INVIAS. (2013). *Manual de diseño geométrico*. Colombia.
- Montejo , A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras* (Segunda ed.). Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia .